



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UNICEUB**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DANILO LOPES MORAIS MARINHO**

**AVALIAÇÃO DE RISCO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

Brasília, 2018

DANILO LOPES MORAIS MARINHO

**AVALIAÇÃO DE RISCO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do curso de Engenharia Elétrica da FATECS – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – do Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:

Prof. MSc. Luciano Duque

Brasília, 2018

DANILO LOPES MORAIS MARINHO

**AVALIAÇÃO DE RISCO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do curso de Engenharia Elétrica da FATECS – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – do Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:

Prof. MSc. Luciano Duque

Brasília, 26 de junho de 2018.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. MSc. Luciano Henrique Duque**  
**Orientador**

---

**Prof. MSc. William Roberto Malvezzi**

---

**Prof. MSc Cleids Maria Lisbôa Cardoso Soares**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por ter concedido a graça de conseguir concluir o presente trabalho.

À minha família, em especial minha mãe Geovania, pai Lucival e madrastra Euzilene, pela paciência, apoio e por terem me proporcionado todas oportunidades de estudo.

Aos meus irmãos Dalila e Lucas pelo apoio e por serem para mim um exemplo de dedicação aos estudos.

Aos meus colegas de turma, Gustavo, Jader e Wagner que estiveram ao meu lado nessa trajetória de dificuldades e superação sempre me apoiando e incentivando a não desistir.

Ao UniCEUB e aos professores por terem me passado todo o conhecimento adquirido durante o curso. Em especial ao professor Luciano Duque pela digna orientação prestada durante toda a realização deste trabalho.

## **RESUMO**

Este trabalho aborda um estudo referente a norma ABNT NBR 5419, que trata da proteção contra descargas atmosféricas, cita a última versão da norma de 2015, analisando as mudanças mais impactantes sofridas pela norma em sua última revisão além de expor conceitos sobre as descargas atmosféricas e de SPDA. Por fim, é desenvolvido um estudo de caso em que é realizado um gerenciamento de risco conforme a parte 2 da NBR 5419 de 2015, após a análise do gerenciamento de risco foi projetado um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para um edifício proposto. A simulação do gerenciamento de risco foi realizada através de uma planilha de simulação exclusiva para o cálculo de avaliação de risco.

Palavras-chave: SPDA. Descargas Atmosféricas. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gerenciamento de risco.

## **ABSTRACT**

This work deals with a study related to ABNT NBR 5419, which deals with protection against atmospheric discharges, cites the latest version of the 2015 standard, analyzing the most shocking changes suffered by the standard in its last revision, as well as exposing concepts about atmospheric discharges and of SPDA. Finally, a case study is developed in which a risk management is performed according to part 2 of the NBR 5419 of 2015, after the analysis of the risk management was designed a system of protection against atmospheric discharges for a proposed building. Simulations of risk management are performed through a simulation worksheet.

Keywords: SPDA. Atmospheric discharges. Brazilian Association of Technical Standards. Risk management.

## LISTA DE ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	<i>American Iron Steel Institute</i>
C	Coulombs
CIGRE	<i>International Council on Large Electrical Systems</i>
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica
ESE	<i>Early Streamer Emission</i>
$i(t)$	Corrente de descarga atmosférica
IACS	<i>International Annealed Copper Standard</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
kA	Quiloampere
kV	Quilovolts
kW	Quilowatts
kWh	Quilowatt-hora
LEMP	<i>Lightning Electromagnetic Impulse</i>
m	Metro
MJ/m <sup>2</sup>	Megajoule por metro quadrado
MPS	Medida de Proteção contra Surto
NBR	Norma Brasileira
NP	Nível de Proteção
PS	Planilha de Simulação
RT	Risco Tolerável
SPDA	Sistema de Proteção Descargas Atmosféricas
ZPR	Zona de Proteção contra Raios

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático do desenvolvimento do projeto.....	14
Figura 2– Distribuição das cargas elétricas no interior da nuvem .....	19
Figura 3 – Descarga elétrica tortuosa e ramificada .....	20
Figura 4 – Ilustração da formação das descargas atmosféricas .....	21
Figura 5 – Onda característica de uma descarga atmosférica .....	22
Figura 6 – Curva da componente longa da descarga atmosférica .....	22
Figura 7 – Componente de descargas atmosféricas descendentes.....	25
Figura 8 - Componentes de descargas atmosféricas ascendentes.....	26
Figura 9 – Distribuição cumulativa de frequência dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas. ....	28
Figura 10 – Passo a passo do processo de gerenciamento de risco .....	41
Figura 11 – Mapa nacional da densidade de descargas atmosféricas.....	43
Figura 12 - Legenda do mapa de descargas atmosféricas ampliada.....	43
Figura 13 – Área de exposição equivalente de uma estrutura retangular .....	44
Figura 14 – Estrutura de forma complexa .....	45
Figura 15 – Área de exposição equivalente de uma estrutura de forma complexa ...	45
Figura 16 – Fluxograma do procedimento de avaliação da eficiência do custo das medidas de proteção.....	61
Figura 17 – Fluxograma do procedimento para a avaliação da necessidade de um SPDA .....	62
Figura 18 – Valores do ângulo de proteção para cada classe de SPDA.....	68
Figura 19 – Laço em um condutor de descida .....	71
Figura 20 – Comprimento mínimo do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA .....	73
Figura 21– Princípios gerais para a divisão de diferentes ZPR.....	76
Figura 22 – Sistema de proteção contra descarga atmosférica .....	79
Figura 23 – Ângulo de proteção do método de Franklin.....	80
Figura 24 – Edificação com SPDA método de Faraday .....	82
Figura 25 – Representação do método da esfera rolante .....	83
Figura 26 – Ilustração da esfera rolante.....	84
Figura 27 – Imagem 3D do bloco 3 do UniCeub .....	86
Figura 28 – Densidade de descargas atmosféricas para a terra em Brasília .....	87
Figura 29 – Características da estrutura e meio ambiente - PS.....	93
Figura 30 – Características da linha de energia da estrutura - PS.....	94
Figura 31 – Características da linha de sinal da estrutura - PS.....	94
Figura 32 – Características da zona de exposição - PS.....	95
Figura 33 – Perda inaceitável da vida humana - PS .....	95
Figura 34 – Valores das componentes de risco e R1 e resultado dos cálculos da planilha de simulação - PS.....	96
Figura 35 – Medidas que devem ser tomadas para a proteção da estrutura .....	97
Figura 36 – Gráfico com variações dos valores das componentes de risco e do risco R1.....	98
Figura 37 - Gráfico com variações dos valores das componentes de risco e do risco R1 após as medidas de proteção.....	99



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores das grandezas das descargas atmosféricas .....	21
Tabela 2 – Valores dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas - CIGRE .....	27
Tabela 3 – Efeitos das descargas atmosféricas em vários tipos de estruturas .....	29
Tabela 4 – Correspondência entre fonte de danos, tipos de danos e perdas .....	32
Tabela 5 – Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos .....	33
Tabela 6 – Valores máximos dos parâmetros da corrente da descarga atmosférica para cada NP .....	34
Tabela 7 – Valores da corrente mínima de pico e do raio da esfera para cada NP ..	35
Tabela 8 – Relação do tipo de perda com os componentes de risco .....	38
Tabela 9 – Fatores que influenciam os componentes de risco .....	40
Tabela 10 – Valores de risco tolerável (RT) .....	41
Tabela 11 – Fatores relevantes .....	42
Tabela 12 – Valores do fator de localização .....	46
Tabela 13 – Valores da probabilidade de choques elétricos a seres vivos devido tensões de toque e de passos perigosas .....	47
Tabela 14 – Valores da probabilidade de danos físicos na estrutura devido a descarga atmosférica .....	48
Tabela 15 – Valores de probabilidade de <i>PSPD</i> em função do NP .....	48
Tabela 16 – Valores de fator <i>CLDe CLI</i> dependendo da blindagem, aterramento e isolamento .....	49
Tabela 17 – Valores do fator <i>KS3</i> em função da fiação interna da estrutura .....	50
Tabela 18 – Valores das probabilidades de <i>PTU</i> e <i>PEB</i> .....	52
Tabela 19 - Valores da probabilidade <i>PLD</i> em função da resistência da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso do equipamento .....	52
Tabela 20 – Valores da probabilidade <i>PLI</i> em função do tipo da linha e da tensão suportável de impulso dos equipamentos .....	53
Tabela 21 – Valores de perda para cada zona – Perda de vida humana .....	54
Tabela 22 – Valores médios típicos de perda correspondente ao tipo de estrutura ..	55
Tabela 23 – Fator de redução em função da superfície do solo ou piso .....	55
Tabela 24 – Fator de redução em função das providencias tomadas para redução das consequências de incêndio .....	55
Tabela 25 – Fator de redução em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura .....	56
Tabela 26 – Fator de aumento de quantidade relativa de perda na presença de perigo especial .....	56
Tabela 27 – Valores de perda para cada zona. Perda do serviço ao público .....	57
Tabela 28 – Valores médio típicos. Perda de serviço ao público .....	57
Tabela 29 - Valores de perda para cada zona. Perda do patrimônio cultural .....	57
Tabela 30 - Valores médio típicos. Perda de patrimônio cultural .....	58
Tabela 31 – Valores de perda para cada zona. Perda econômica .....	58
Tabela 32 - Valores médio típicos. Perda econômica .....	59
Tabela 33 – Equações para cálculo de custos .....	60
Tabela 34 – Relação do nível de proteção e classes de SPDA .....	63
Tabela 35 – Materiais para SPDA e condições de utilização .....	64

Tabela 36 – Condições de aplicação dos materiais dos subsistemas de captação e descidas .....	65
Tabela 37 - Condições de aplicação dos materiais do subsistema de aterramento ..	66
Tabela 38 – Valores dos raios da esfera rolante e tamanho da malha para cada classe de SPDA .....	68
Tabela 39 – Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação.....	69
Tabela 40 – Valores dos espaçamentos dos condutores de descida e interligações horizontais conforme a classe de SPDA .....	70
Tabela 41 – Coeficiente $k_i$ em relação ao nível de proteção .....	72
Tabela 42 – Coeficiente $k_m$ em relação ao material isolante .....	72
Tabela 43 – Coeficiente $k_c$ em relação ao número de descidas .....	72
Tabela 44 – Dimensões mínimas dos condutores que interligam os barramentos de equipotencialização entre si ao sistema de aterramento.....	75
Tabela 45 – Dimensões mínimas dos condutores que interligam os elementos metálicos internos aos barramentos de equipotencialização .....	75
Tabela 46 – Mínimos valores de seção transversal dos componentes de quipotencialização .....	77
Tabela 47 – Valores dos parâmetros necessários para o cálculo dos componentes de risco.....	87
Tabela 48 – Valores dos componentes de risco e risco total R1 .....	90

# SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 MOTIVAÇÃO .....	12
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	13
1.2.1 <i>Objetivo geral</i> .....	13
1.2.2 <i>Objetivos específicos:</i> .....	13
1.3 METODOLOGIA .....	13
1.4 TRABALHOS CORRELATOS.....	15
1.5 RESULTADOS ESPERADOS .....	16
1.6 ORGANIZAÇÃO .....	16
<b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	18
2.2 ABNT NBR 5419:2015.....	24
2.2.1 <i>Parte 1 – Princípios Gerais</i> .....	24
2.2.2 <i>Parte 2 – Gerenciamento de risco</i> .....	36
2.2.2.1 <i>Número de eventos perigosos por ano NX</i> .....	41
2.2.2.2 <i>Probabilidade de danos à estrutura PX</i> .....	47
2.2.2.3 <i>Perda consequente LX</i> .....	53
2.2.3 <i>Parte 3 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida</i> .....	62
2.2.3.1 <i>Subsistema de Captação</i> .....	67
2.2.3.2 <i>Subsistema de descidas</i> .....	70
2.2.3.3 <i>Subsistema de aterramento</i> .....	73
2.2.3.4 <i>Ligação equipotencial</i> .....	74
2.2.4 <i>Parte 4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura</i> ....	75
2.2.4.1 <i>Dispositivos de Proteção contra Surtos</i> .....	78
2.3 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS – SPDA .....	78
2.3.1 <i>Método de Franklin</i> .....	79
2.3.2 <i>Método de Faraday</i> .....	81
2.3.3 <i>Método da Esfera rolante</i> .....	82
<b>3 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>85</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	85
3.2 GERENCIAMENTO DE RISCO .....	86
3.3 PROJETO DO SPDA .....	90
<b>4 SIMULAÇÃO .....</b>	<b>93</b>
4.1 RESULTADOS.....	96
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>100</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>106</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Descargas atmosféricas, ou raios como popularmente são conhecidas, são definidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), como um fenômeno de consequência do rápido movimento de elétrons de um lugar para outro na atmosfera, com típica duração de meio segundo e trajetória de comprimento de 5 a 10 km. De acordo com o INPE, o Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo, o fato de ser o maior país tropical do mundo faz com que em média 50 milhões de raios caiam no Brasil todos os anos.

Sabe-se hoje que pontos de maior altura, como as grandes edificações, antenas, árvores, entre outros, são mais propícios às quedas de raios. Por possuírem uma grande magnitude elétrica, além de causar danos às estruturas de edificações podem oferecer riscos às pessoas que possam estar no interior ou até mesmo nos arredores das mesmas no momento da descarga elétrica (MAMEDE FILHO, 2001).

Do mesmo modo, podem originar incêndios, acidentes em embarcações marítimas, na aviação, torres de plataforma de petróleo e quedas nas redes de energia elétrica, acarretando enormes prejuízos financeiros (REIS, 2005).

Apesar de todo avanço tecnológico, as descargas atmosféricas, além de serem imprevisíveis, fogem do controle humano, se fazendo assim, necessário o desenvolvimento de técnicas que possam evitar ou reduzir seus efeitos prejudiciais ao homem. Uma técnica de eficácia satisfatória e que é objeto de pesquisas e projetos que visam aperfeiçoar ainda mais sua atuação nestes fenômenos, são os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Um SPDA é capaz de proteger pessoas, edificações e estruturas contra os efeitos negativos das descargas atmosféricas (MARTINS, 2017).

A ANBT NBR 5419, é a norma que propõe os padrões de implementação de um projeto de SPDA de forma apropriada e eficiente, que surgiu como forma de minimizar os danos provocados por raios. Essa norma foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade, pela Comissão de Estudo de Proteção contra Descargas Atmosféricas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Baseada na norma internacional IEC 61024, a NBR 5419:2005, versão anterior antes da revisão de 2015, contém a metodologia do projeto de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Já a versão de 2015 é fundamentada na IEC 62305,

dívida em quatro partes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015):

- Parte 1 – Princípios Gerais: em geral, estabelece os requisitos para a determinação de proteção contra descargas atmosféricas e fornece subsídios para o uso em projetos.
- Parte 2 – Gerenciamento de risco: estabelece os requisitos para análise de risco em uma estrutura devido às descargas atmosféricas para a terra. Tem o propósito de fornecer um procedimento para a avaliação de tais riscos.
- Parte 3 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida: constitui os requisitos para a proteção de uma estrutura contra danos físicos por meio de um SPDA e para proteção de seres vivos contra lesões causadas pelas tensões de toque e passo nas vizinhanças de um SPDA.
- Parte 4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura: esta parte fornece informações para o projeto, instalação, inspeção, manutenção e ensaio de sistemas de proteção elétricos e eletrônicos para reduzir o risco de danos permanentes internos à estrutura devido aos impulsos eletromagnéticos de descargas atmosféricas.

Este projeto visa apresentar a norma de regulamentação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, apresentar o conceito de descarga atmosférica e os danos que podem causar aos seres humanos e a sistemas elétricos e eletrônicos, elaborar um estudo de caso em que deverá ser desenvolvido o gerenciamento de risco para um prédio real, no qual será avaliado a necessidade ou não de um projeto de SPDA para o prédio, que deverá ser desenvolvido de acordo com a versão de 2015 da NBR 5419.

### **1.1 Motivação**

Em uma matéria publicada no site do INPE, em setembro de 2015, Osmar Pinto Junior, coordenador do ELAT, cita que mais de 80% dos acidentes causados por raios poderiam ser evitados. No entanto, seria necessário um eficiente sistema de previsão de raios e uma orientação para a população para medidas de proteção.

Segundo INPE, aproximadamente 40% das queimas de transformadores, 40% dos desligamentos não programados no sistema de distribuição de energia e 70% dos

desligamentos na transmissão são causados por descargas atmosféricas. O Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), pertencente ao INPE, estima que prejuízo anual médio devido às descargas atmosféricas no Brasil seja algo em torno de R\$ 1 bilhão.

Além do prejuízo financeiro, as descargas atmosféricas representam um grave risco à vida, uma vez que, além de graves ferimentos, quando atingem uma pessoa podem levá-la a óbito. Uma matéria publicada no portal de notícias G1, divulgou um estudo realizado pelo INPE, em outubro de 2015, que aponta que em média no Brasil morrem 111 pessoas todos os anos atingidas por direta ou indiretamente por raios.

## **1.2 Objetivos do trabalho**

### **1.2.1 *Objetivo geral***

O objetivo geral do presente trabalho é desenvolver um estudo de caso da realização de uma avaliação de risco de uma estrutura conforme a segunda parte da NBR 5419-2015, e desenvolver um projeto de SPDA para o edifício proposto.

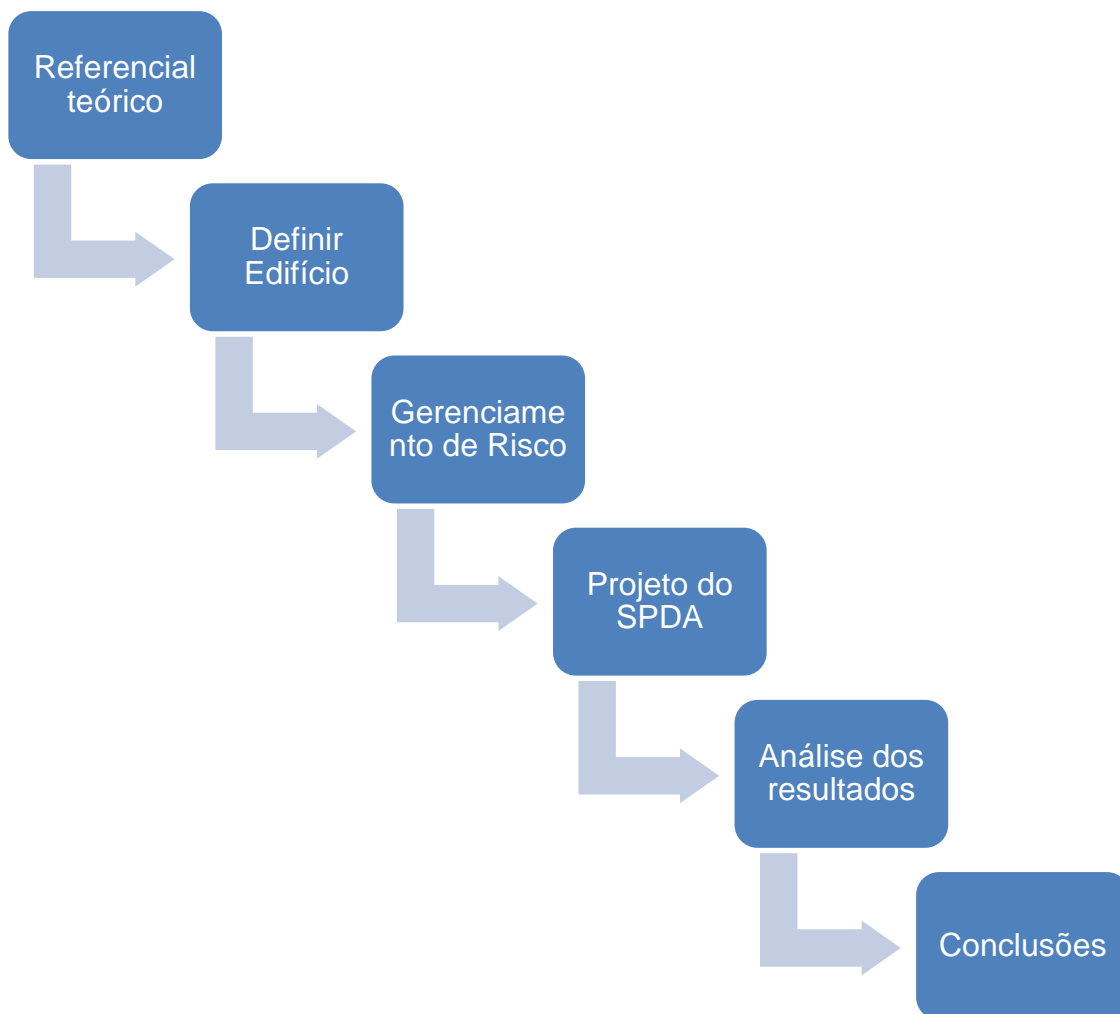
### **1.2.2 *Objetivos específicos:***

- Apresentar a importância da NBR 5419;
- Apresentar a importância do Gerenciamento de risco;
- Demonstrar as metodologias da projeção de cada tipo de SPDA;
- Desenvolver um gerenciamento de risco para o estudo de caso;
- Desenvolver um projeto de SPDA, para uma estrutura, de acordo com a última versão da norma NBR 5419;

## **1.3 Metodologia**

O trabalho segue a metodologia de um estudo de caso e por meio de pesquisas iniciais, chegou-se à conclusão que o desenvolvimento do projeto poderia ser dividido em seis etapas, como pode ser observado na figura 1, abaixo, que representa o diagrama esquemático do desenvolvimento do projeto.

Figura 1 - Diagrama esquemático do desenvolvimento do projeto



**Fonte:** Elaborada pelo autor

- **PRIMEIRA ETAPA:** Pesquisas bibliográficas, onde será produzido o referencial teórico que formará a base de referência da proposta. Serão apresentados, de acordo com as pesquisas bibliográficas, os conceitos de descargas atmosféricas, sua origem de formação, os tipos de descargas que podem haver, danos que podem causar aos seres humanos e à sistemas elétricos e eletrônicos, princípio de funcionamento e tipos de SPDA. Uma análise da norma NBR 5419:2015, apresentar a norma de forma geral.
- **SEGUNDA ETAPA:** Esta é a etapa onde inicia-se o desenvolvimento do trabalho proposto. Serão definidos o edifício e o projeto arquitetônico que será utilizado para estudo de caso, serão avaliados alguns projetos e selecionado aquele que melhor se enquadra na proposta de estudo.

- **TERCEIRA ETAPA:** Onde será realizado o gerenciamento de risco, desenvolvimento do projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas, conforme a segunda parte da NBR 5419-2015 para o edifício escolhido na etapa anterior.
- **QUARTA ETAPA:** Será avaliado a necessidade ou não de um projeto de SPDA com base nas informações da etapa anterior, havendo a necessidade, será desenvolvido um projeto de SPDA que melhor se enquadra para as especificações do edifício em questão.
- **QUINTA ETAPA:** Será realizada, através de uma planilha comercializada na internet exclusiva para Gerenciamento de Risco, a avaliação de risco do sistema de proteção contra descargas atmosféricas projetados na quarta etapa. Consistirá também na comparação dos resultados de gerenciamento de risco elaborado pelo autor com o gerenciamento de risco da planilha de simulação.
- **SEXTA ETAPA:** Apresentação das conclusões sobre o desenvolvimento do projeto, sobre a análise dos resultados obtidos e sobre todo o conhecimento adquirido na produção do trabalho.

#### 1.4 Trabalhos correlatos

Alguns trabalhos similares já foram produzidos e serviram de base referencial para a produção deste. Como por exemplo o trabalho de Santini (2016), Comparação entre a ABNT 5419 do ano de 2005 e 2015 e aplicação em projeto, onde o trabalho desenvolvido pelo autor apresenta uma análise preliminar da formação das descargas atmosféricas e as etapas de um SPDA, além de uma metodologia para SPDA conforme as versões dos anos de 2005 e 2015 da norma. Ao fim do trabalho, o autor pôde concluir que a versão atual da NBR 5419 é 3,15% mais eficiente que a versão anterior.

Outro trabalho que foi utilizado como base para este foi o de Martins (2017), Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas, onde o autor aborda conhecimentos básicos sobre a proteção de sistemas elétricos e estruturas. Descreve a norma NBR 5419 e a metodologia de cálculo associado à proteção. E apresenta cálculos da proteção de um sistema de teste em que utiliza as versões de 2005 e 2015



da norma. O autor descreve em suas conclusões que foi possível verificar um aumento significativo na eficiência da 5419:2015 em relação a versão de 2005.

Há também, o trabalho realizado por Silva (2017), para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação, no qual foi titulado, Descargas Atmosféricas, Formas de Diminuir o Risco de Acidentes, em que o autor apresenta meios de reduzir os acidentes gerados por descargas elétricas atmosféricas. Em suas conclusões o autor cita que nenhuma medida é capaz de diminuir o risco de acidentes em 100%, no entanto, se forem seguidas as orientações da NBR 5419:2015, é possível reduzir esses riscos a serem bem próximos de zero.

### **1.5 Resultados esperados**

Seguindo a metodologia proposta, espera-se chegar a conclusões satisfatórias a respeito das alterações aplicadas na norma que é objeto de estudo do presente trabalho.

Espera-se, também, demonstrar a importância da análise de risco e o quanto as alterações influenciaram significativamente no aumento da eficiência de um SPDA, minimizando os riscos de segurança para as pessoas e equipamentos eletrônicos, evitando, assim, danos à vida e prejuízos financeiros.

### **1.6 Organização**

Este trabalho segue organizado da seguinte forma:

O **capítulo 1** apresenta um contexto introdutório sobre o trabalho a ser desenvolvido.

No **capítulo 2** será apresentado o referencial teórico, com informações aprofundadas sobre as descargas atmosféricas, SPDA, a NBR 5419. Abarcará todo o conhecimento utilizado para o início deste projeto.

No **capítulo 3** será detalhado todo o desenvolvimento do processo de realização do projeto de SPDA, que será feito no software AutoCad.

No **capítulo 4** será apresentada a comparação dos resultados de gerenciamento de risco elaborado com os resultados do gerenciamento de risco da planilha utilizada.

Por fim, o **capítulo 5** apresentará as conclusões obtidas a partir do desenvolvimento do projeto.

## **2 REFERÊNCIAL TEÓRICO**

Este capítulo é composto por pesquisas bibliográficas, é apresentado todo o referencial teórico que forma a base de referência da proposta. São apresentados os conceitos de descargas atmosféricas, os tipos de descargas que podem haver, danos que podem causar aos seres humanos e à sistemas elétricos e eletrônicos, princípio de funcionamento e os tipos de SPDA. É apresentada e analisada a NBR 5419-2015.

### **2.1 Descargas Atmosféricas**

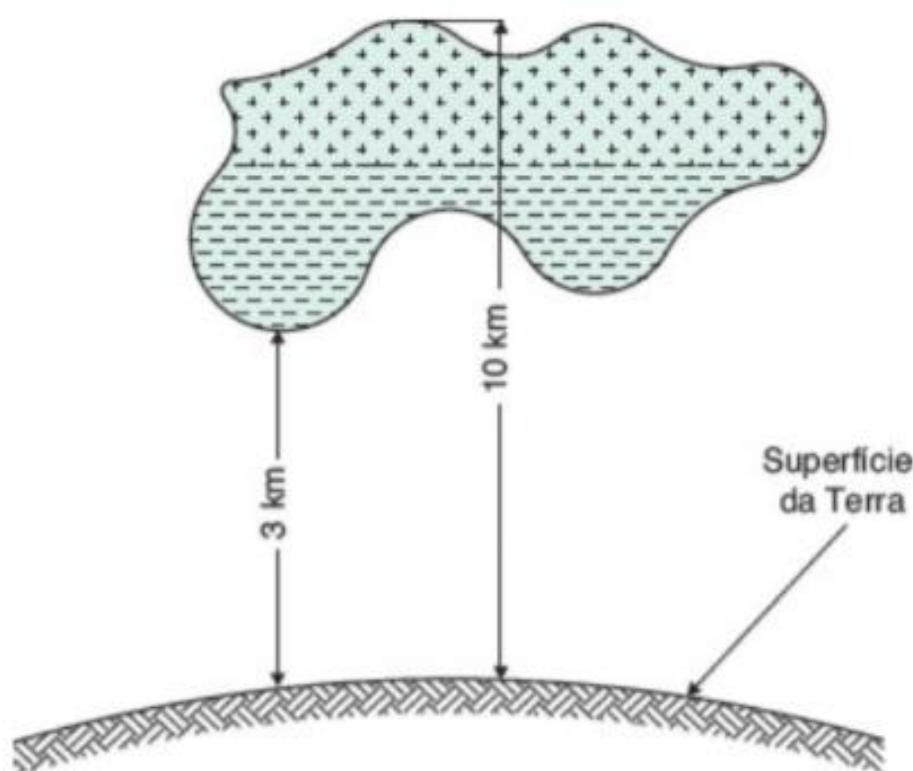
De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), as descargas atmosféricas mais perigosas podem ser classificadas em dois tipos possíveis, descargas atmosféricas descendentes por um líder descendente ou descarga piloto, seguem o trajeto da nuvem para a Terra, geralmente ocorrem em locais planos e estruturas mais baixas. O outro tipo são as descargas ascendentes de retorno, ocorrem de uma estrutura aterrada para a nuvem e são predominantes em estruturas mais elevadas.

Conforme o INPE, as descargas atmosféricas podem ocorrer da nuvem para o solo, descargas descendentes, do solo para a nuvem, descargas ascendentes, dentro da nuvem e entre nuvens. As mais frequentes são as que ocorrem entre as nuvens, por causa da capacidade isolante do ar diminuir com a altura, representam 70% da quantidade total de descargas. Número que varia conforme latitude geográfica do local considerado, sendo aproximadamente 80-90% em regiões mais próximas do equador geográfico e 50-60% em regiões mais distantes.

Segundo Cavalin e Cervelin, (2006), as descargas atmosféricas são formadas pelo fato do ar quente e úmido, que fica próximo ao solo, se elevar na atmosfera, devido à sua menor densidade que o ar acima dele. Esse ar esfria, devido ao deslocamento ascendente, até chegar ao topo da nuvem, onde a temperatura pode chegar aos 30°C negativos. É nesse momento em que o vapor d'água, que estava misturado com o ar quente, se transforma em granizo, que por causa do seu peso começa a se precipitar para a base da nuvem. Há então o choque com outras partículas menores, principalmente cristais de gelo, que faz com que fiquem eletricamente carregadas. Esse choque ocorre devido ao deslocamento descendente do granizo.

Devido ao fato do granizo, que fica com carga negativa, ser mais pesado se move para a base da nuvem, já os cristais, que ficam com cargas positivas, se deslocam para a o topo da nuvem. É possível notar, na figura 2, que as cargas no interior da nuvem se separam, positiva na parte superior e negativa na inferior, quando as cargas atingem valores elevados, a nuvem carregada e a Terra, referencial positivo, atingem uma diferença de potencial que pode variar de 10kV a 100kV, é então quando ocorrem as descargas atmosféricas.

Figura 2– Distribuição das cargas elétricas no interior da nuvem



Fonte: MEMEDE FILHO (2010)

No entanto, para que as descargas atmosféricas ocorram, Mamede Filho (2001), explica que é necessário uma diferença de potencial que seja capaz de romper a rigidez dielétrica do ar, que geralmente é elevada, porém, depende das condições ambientais. Quando o gradiente de tensão, aumento gradativo da diferença de potencial, atinge um valor que é capaz de romper a resistência dielétrica interposto entre a Terra e a nuvem, as cargas elétricas migram da nuvem em direção ao solo, em um trajeto tortuoso e geralmente cheio de ramificações, como pode ser observado na figura 3. Esse fenômeno é conhecido como descargas atmosféricas descendentes ou descarga piloto.

Figura 3 – Descarga elétrica tortuosa e ramificada



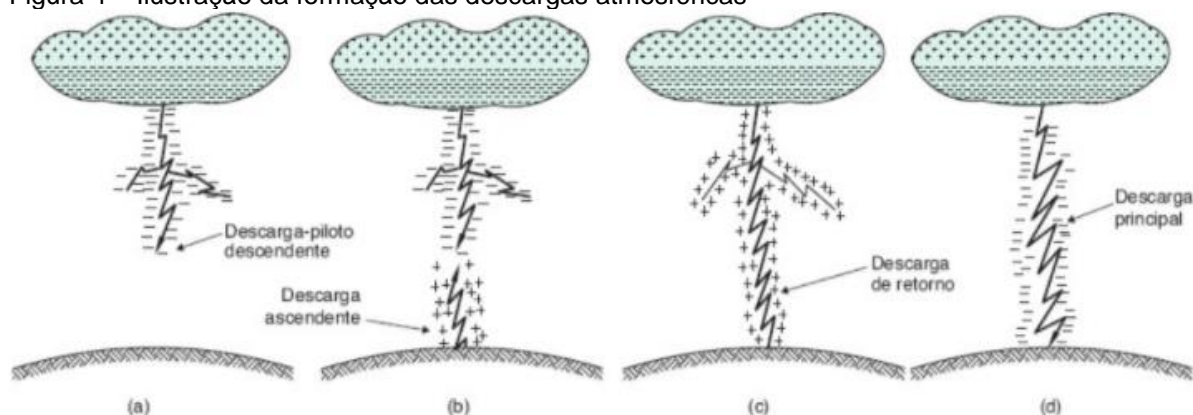
Fonte: SANTOS (2017)

Mamede Filho (2001), ainda esclarece que o caminho ionizado em que a descarga piloto segue favorece as condições de condutibilidade do ar ambiente. Enquanto o gradiente de tensão se mantém superior a rigidez dielétrica, a aproximação de uma das ramificações da descarga piloto faz surgir uma descarga ascendente, que é composta de cargas elétricas positivas, denominada de descarga ascendente de retorno da Terra para a nuvem, gerando em seguida a descarga principal no sentido da nuvem para a Terra.

A descarga principal libera uma elevada quantidade de energia em forma de calor, que causa a dilatação do ar em sua proximidade. Esta rápida dilatação produz uma onda sonora característica, que é popularmente conhecida como trovão, que é ouvido após a descarga atmosférica devido a velocidade de propagação da luz ser maior que a do som.

A figura 4 ilustra as etapas da formação das descargas atmosféricas conforme foi descrito acima.

Figura 4 – Ilustração da formação das descargas atmosféricas



Fonte: MEMEDE FILHO (2010)

As descargas atmosféricas podem atingir grandes valores de intensidade, a tabela 1, abaixo, apresenta alguns desses valores com base nas informações retiradas do Kindermann (1995).

Tabela 1 – Valores das grandezas das descargas atmosféricas

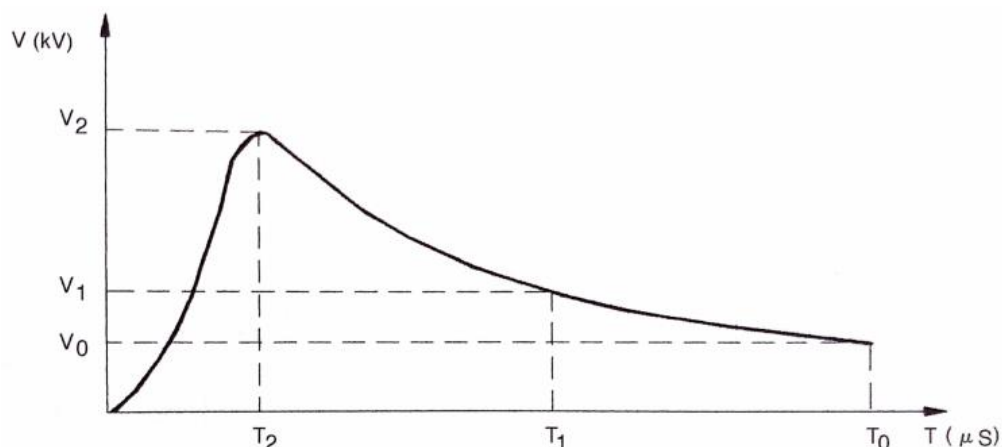
Grandezas	Valores
Corrente	2.000 a 200.000A
Tensão	100 a 1.000kV
Duração	70 a 200 $\mu$
Potencia liberada	1 a 8 bilhões de kW
Energia	4 a 10 kWh
Carga elétrica na nuvem	20 a 50C

Fonte: Adaptada de KINDERMANN (1995)

De acordo com o INPE, a maior parte da energia gerada pela descarga atmosférica é gasta na expansão do ar nos metros iniciais ao redor do canal. Boa parte da energia é convertida em energia térmica, acústica e eletromagnética.

Mamede Filho (2001), menciona uma onda típica da descarga atmosférica, no qual o conhecimento da forma da onda, dos seus valores de tensão, tempo e percentuais de ocorrência, é o que permite os estudos de dimensionamento de para-raios de proteção contra sobretensões nas redes elétricas e dos para-raios destinados à proteção de estruturas e instalações.

Figura 5 – Onda característica de uma descarga atmosférica

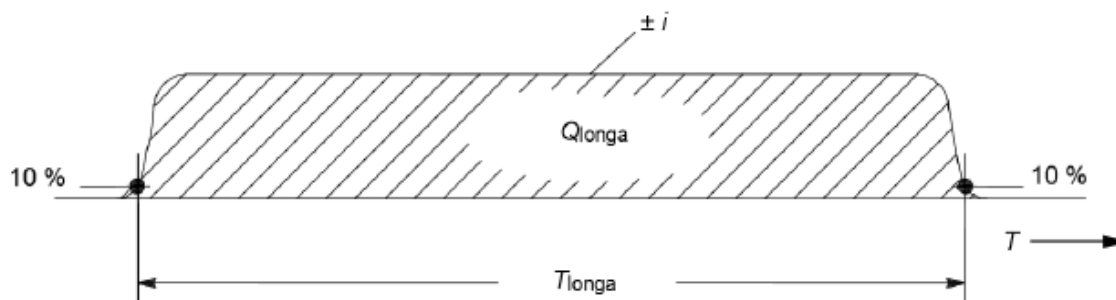


Fonte: MAMEDE FILHO (2001)

Na figura 5, pode-se observar que a onda atinge seu valor máximo em  $V_2$  num um tempo  $T_2$ . O valor médio da calda da onda é representado por  $V_1$ , é o ponto em que a curva da corrente decai em até 50% do valor de pico e é atingido em  $T_1$ , caindo para  $V_0$  ao fim de  $T_0$ .

Já a curva da componente longa, com duração superior a 2ms, da descarga atmosférica pode ser observada na figura 6, abaixo:

Figura 6 – Curva da componente longa da descarga atmosférica



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Em que  $T$  é o tempo, em segundos, enquanto  $T_{longa}$  é o intervalo de tempo onde a corrente de longa duração permanece entre 10% do valor de pico no crescimento e no decrescimento da corrente, geralmente variando entre 2 milissegundos e 1 segundo (SANTINI, 2016).

A corrente da descarga atmosférica é representada por  $i$ , em quiloampères (kA). Enquanto  $Q_{longa}$  corresponde a carga da componente longa da descarga atmosférica.

A Equação 1, logo abaixo, é utilizada para definição das formas de onda das correntes das descargas atmosféricas do primeiro impulso positivo, primeiro impulso negativo e dos impulsos negativos subsequentes.

$$i(t) = \frac{I_P}{k} \frac{(t/T_1)^{10}}{1 + (t/T_1)^{10}} e^{-t/T_2} \quad (1)$$

Onde:

$i(t)$  é a corrente da descarga atmosférica;

$I_P$  é a corrente de pico da descarga atmosférica;

$k$  é o fator de correção adimensional para o valor de pico da corrente;

$t$  é o tempo da descarga atmosférica,

$T_1$  é o tempo de frente da descarga atmosférica, definido como 1,25 vezes o intervalo de tempo entre os instantes em que os valores de 10% e 90% da corrente de pico são atingidos;

$T_2$  é o tempo de meia cauda da descarga atmosférica, definido como o intervalo de tempo entre a origem da curva da corrente e o instante em que o valor da corrente decai até a metade do valor de pico.

Bortolato e Vicente (2017), citam duas formas em que as descargas atmosféricas podem causar danos: descargas diretas e descargas indiretas.

As descargas diretas são aquelas que incidem diretamente sobre estruturas ou seres vivos, são também as que causam danos mais severos, podendo gerar incêndios, danos bruscos às estruturas e sistemas elétricos e eletrônicos e até morte.

Em uma matéria do ELAT/INPE foi divulgado o número causadas por raios em 2014, onde cita um episódio em Praia Grande, litoral sul de São Paulo, em que quatro banhistas receberam uma descarga atmosférica e acabaram morrendo. Esse fato foi a segunda maior tragédia provocada diretamente por raio na história do Brasil. Um dado interessante apresentado pelo instituto é que, naquele ano, 27% das vítimas estavam em atividades agropecuárias e 20% estavam dentro de casa e entre todas as vítimas 56% viviam em zona rural.

Já as descargas indiretas, são aquelas que não incidem diretamente o objeto, mas causam seus efeitos em pontos distantes de onde houve a descarga. Em torno do canal principal e no solo são produzidos campos elétricos que se estendem a partir do ponto de impacto, que propagam linhas de corrente elétrica, causam tensões



induzidas em condutores e interferências eletromagnéticas. Inclusive, a principal causa de danos em linhas de distribuição de energia, em redes de telecomunicações e em circuitos de baixa tensão, são as tensões induzidas em corpos próximos ao ponto onde houve a descarga (BORTOLATO; VICENTE, 2017).

## **2.2 ABNT NBR 5419:2015**

Como já citado neste trabalho, a NBR 5419 em sua última revisão sofreu algumas alterações em relação a versão de 2005. O acréscimo de conteúdo da norma fez aumentar de quarenta e duas páginas para trezentos e nove, divididas em quatro partes, tendo como principal mudança a inclusão de um gerenciamento de risco, que consiste numa série de cálculos que devem ser realizados para uma análise da necessidade ou não de um SPDA.

### **2.2.1 Parte 1 – Princípios Gerais**

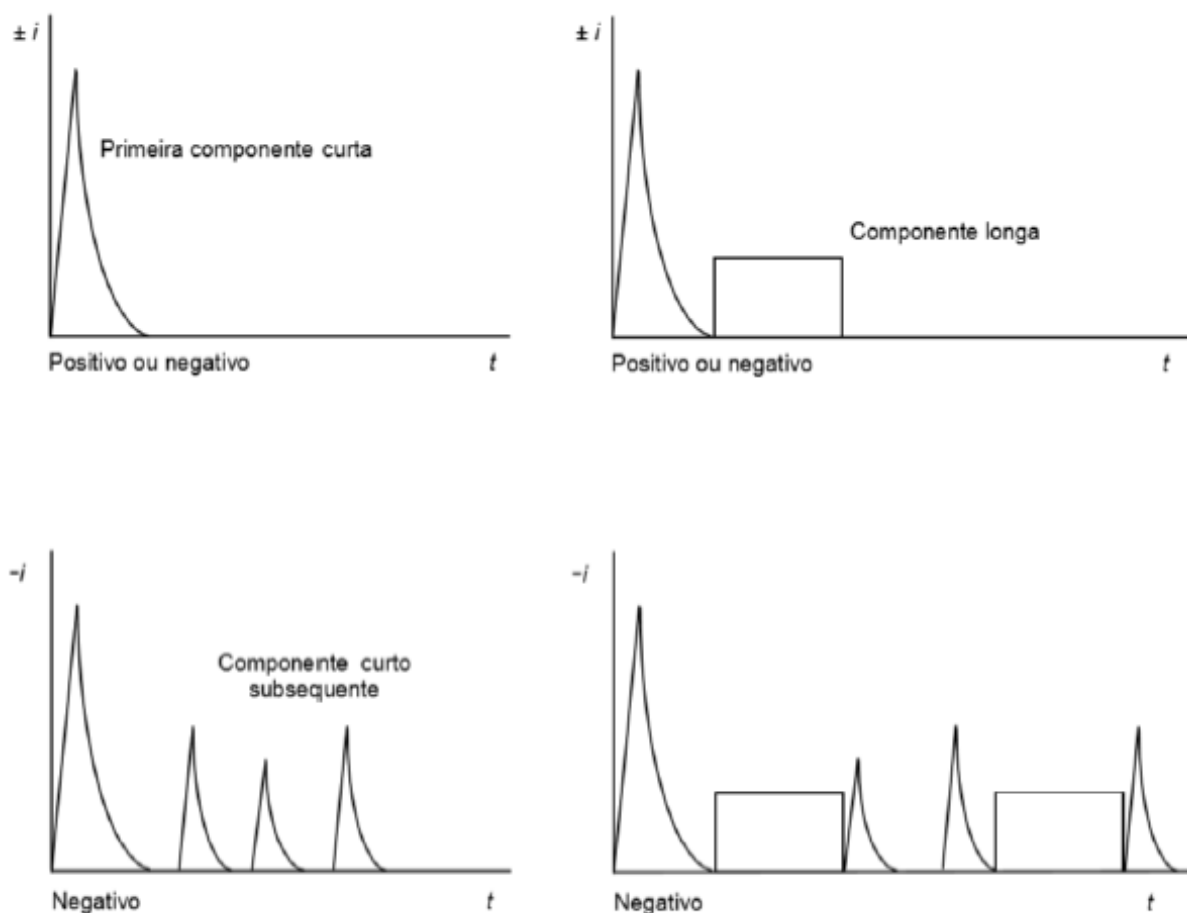
Com a atualização da norma esta parte tornou-se fundamental para a correta compreensão dos efeitos das descargas atmosféricas para o adequado dimensionamento dos materiais para suportar os impulsos atmosféricos. Além do mais, apresentam amplas informações do comportamento das descargas atmosféricas, o que não havia na versão de 2005.

É possível encontrar informações como os parâmetros da corrente da descarga atmosférica, parâmetros da corrente em função do tempo, informações para simulação da corrente para fins de ensaios, parâmetros básicos para uso em laboratório para simular os efeitos das descargas atmosféricas nos componentes do SPDA e informações sobre surtos devidos às descargas atmosféricas em diferentes pontos da instalação. São apresentados, respectivamente nos Anexos A, B, C, D e E da norma. Essas informações também não eram encontradas na versão anterior da norma.

Santini (2016), destaca que a disposição de componentes das correntes de descargas atmosféricas, podem variar como primeira componente, componente subsequente e componente sobreposta, estas variações estão representadas na figura 7 para descargas atmosféricas descendentes e na figura 8 para descargas

atmosféricas ascendentes. Tal disposição de componentes é o que diferencia cada tipo de descarga atmosférica.

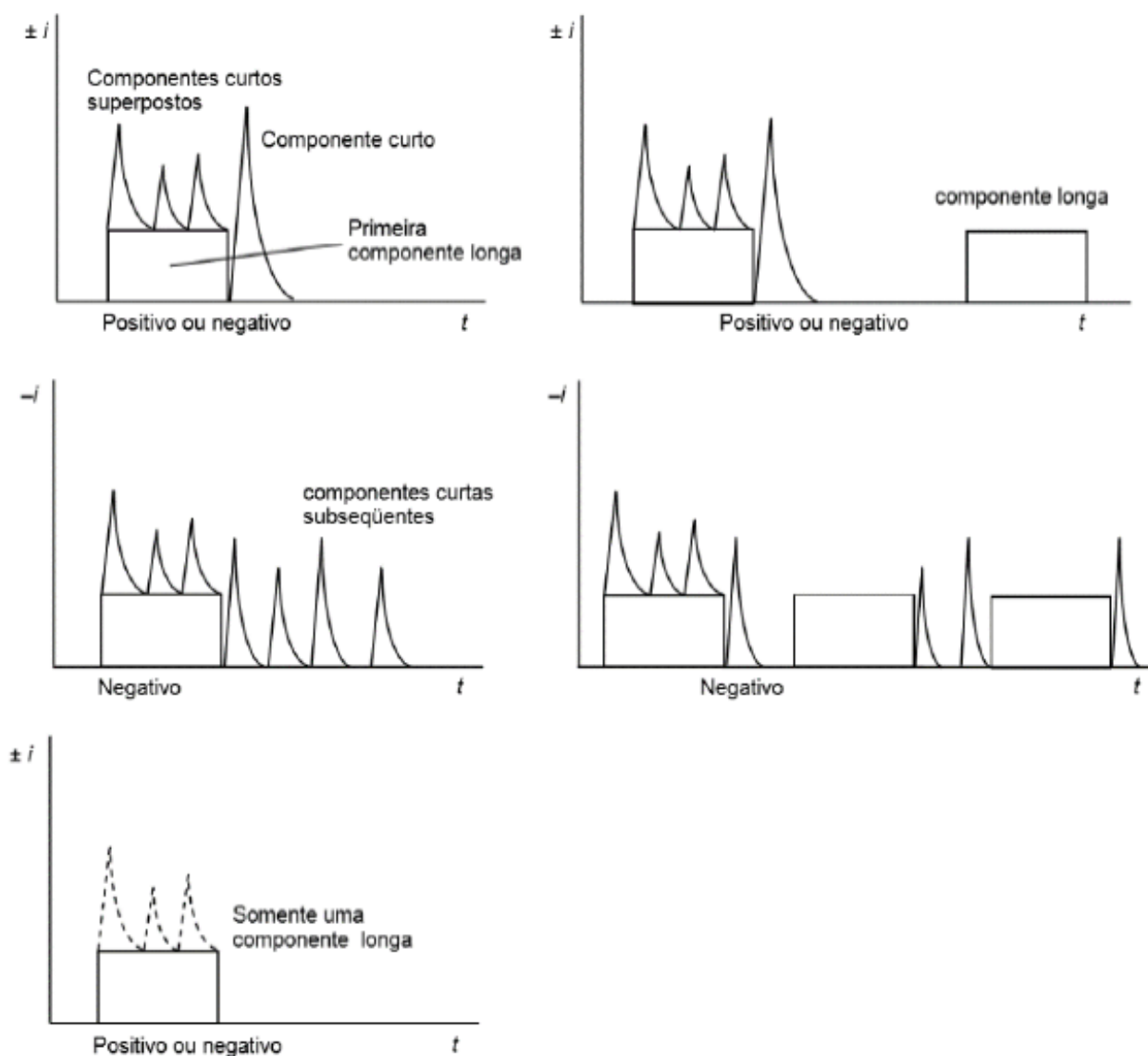
Figura 7 – Componente de descargas atmosféricas descendentes



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

É possível observar, na figura 7, acima e figura 8, mais abaixo, que os parâmetros dos impulsos das descargas atmosféricas descendentes são superiores que os parâmetros dos impulsos das descargas ascendentes. E também que, conforme demonstrado na figura 8, na descarga ascendente sempre há a componente longa, até mesmo quando não há impulsos.

Figura 8 - Componentes de descargas atmosféricas ascendentes



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015).

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), considera os parâmetros da corrente de descarga atmosférica que são baseados nos resultados do *International Council on Large Electrical Systems* (CIGRE), onde assume-se que a distribuição estatística destes parâmetros como sendo a distribuição logarítmica normal, em que é levado em conta uma relação de polaridade de 90% de descargas atmosféricas negativas e 10% positivas.

Tabela 2 – Valores dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas - CIGRE

Parâmetro	Valores			Tipo de componentes de descarga atmosférica	Linha na figura
	95%	50%	5%		
$I(kA)$	7	35	90	Primeira curta negativa	1A+1B
	4,9	11,8	28,6	Subsequente curta negativa	2
	4,6	35	250	Primeira curta positiva	3
$Q_{flash}(C)$	1,3	7,5	40	Descarga atmosférica negativa	4
	20	80	350	Descarga atmosférica positiva	5
$Q_{curta}(C)$	1,1	4,5	20	Primeira curta negativa	6
	0,22	0,95	4	Subsequente curta negativa	7
	2	16	150	Primeira curta positiva	8
$W/R$ (kJ/Ω)	6	55	550	Primeira curta negativa	9
	0,55	6	52	Subsequente curta negativa	10
	25	650	15000	Primeira curta positiva	11
$di/dt_{MAX}$ kA/μs	9,1	24,3	65	Primeira curta negativa	12
	9,9	39,9	161,5	Subsequente curta negativa	13
	0,2	2,4	32	Primeira curta positiva	14
$di/dt_{30/90\%}$ kA/μs	4,1	20,1	98,5	Subsequente curta negativa	15

Fonte: Adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015).

A tabela 2 disponibiliza os valores da probabilidade de ocorrência de valores de pico da corrente de descarga atmosférica que ultrapassam os valores estimados antecipadamente.

Em que:

$I$  é a corrente de pico da descarga atmosférica em (kA);

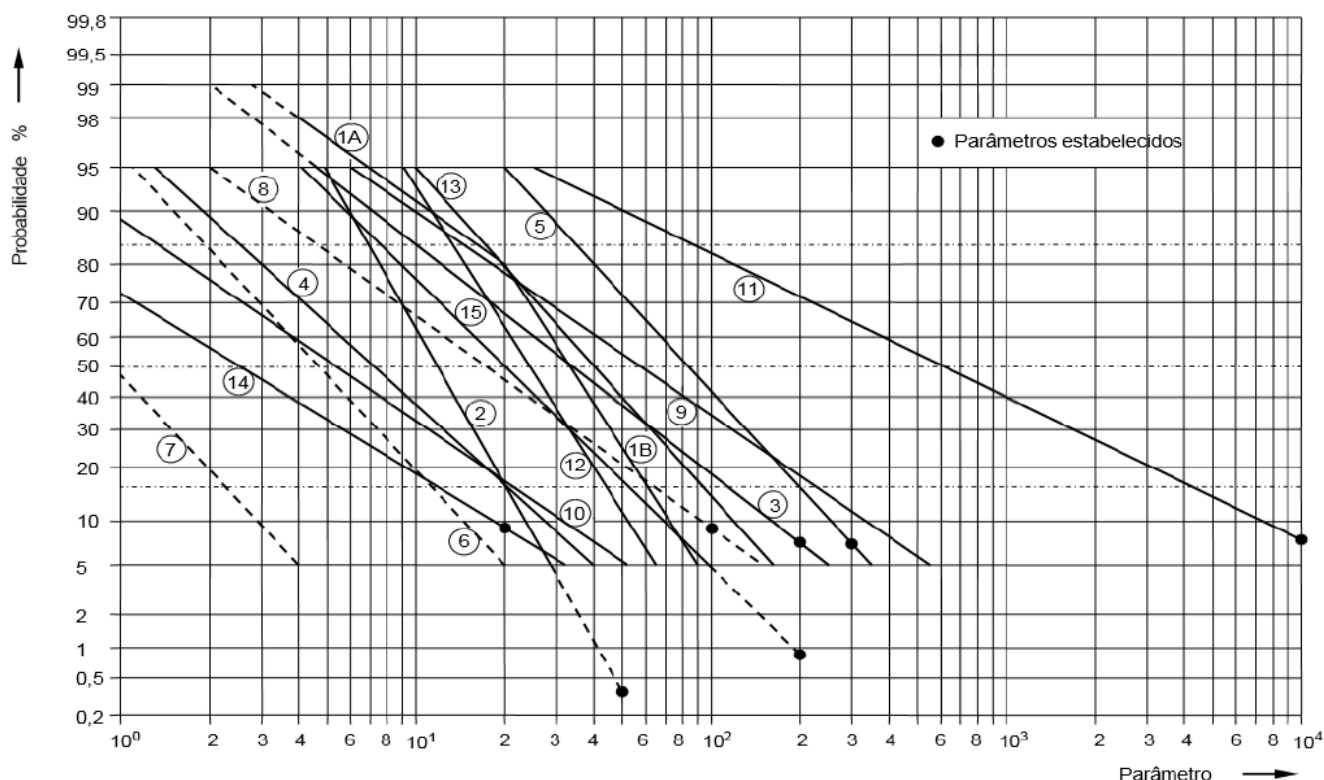
$Q_{flash}$  é a carga de uma descarga atmosférica em (C);

$Q_{curta}$  é a carga do impulso atmosférico em (C);

$W/R$  é a energia específica da descarga atmosférica em (W/Ω);

$di/dt_{30/90\%}$  é a derivada da corrente em função do tempo para as probabilidades de 30% e 90% em (kA/μs).

Figura 9 – Distribuição cumulativa de frequência dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas.



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A figura 9, demonstra a distribuição cumulativa de frequência dos parâmetros das descargas atmosféricas, onde as linhas representadas com valores dos parâmetros definidos pela probabilidade de ocorrência dos mesmos entre 5% e 95%.

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), para que um sistema de proteção contra descargas atmosféricas tenha eficácia, é necessário que a proteção envolva toda a estrutura a ser protegida por uma blindagem perfeitamente contínua e condutora, de espessura adequada, aterrada e que providencie ligações equipotenciais para as linhas de tubulação metálica que entram na estrutura nos pontos de passagem pela blindagem, o que previne a penetração da corrente e de campo elétrico, provenientes da descarga atmosférica, evita os efeitos térmicos e eletrodinâmicos.

Ainda de acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), quando uma descarga atmosférica atinge uma estrutura, pode causar danos aos seres que estiverem em seu interior e falhas dos sistemas internos. Esses danos e falhas podem atingir também às estruturas ao redor da que foi atingida e podem

envolver o ambiente do local onde houve a descarga, no entanto isso depende das características das estruturas e da descarga.

A tabela 3 exibe os danos causados pelas descargas atmosféricas em vários tipos de estruturas.

Tabela 3 – Efeitos das descargas atmosféricas em vários tipos de estruturas

<b>Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo</b>	<b>Efeitos das descargas atmosféricas</b>
Casa de moradia	Perfuração da isolação das instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica. Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos instalados
Edificação em zona rural	Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos etc.
Teatro ou cinema Hotel Escola Shopping Centers Áreas de esportes	Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico, iluminação elétrica, por exemplo. Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate a incêndio.
Banco Empresa de seguros Estabelecimento comercial etc	Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Tabela 3 – Continuação

<b>Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo</b>	<b>Efeitos das descargas atmosféricas</b>
Hospital Casa de tratamento médico Casa para idosos Creche Prisão	Conforme acima, adicionando-se problemas relacionados a pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.
Indústria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.
Museu e sítio arqueológico Igreja	Perda de patrimônio cultural insubstituível.
Estação de telecomunicações Estação de geração e transmissão de energia elétrica	Interrupções inaceitáveis de serviço ao público.
Indústria química Refinaria Usina nuclear Indústria e laboratório de bioquímica	Incêndio e mau funcionamento da planta com consequências prejudiciais ao meio ambiente local e global.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), uma estrutura pode ser atingida por uma descarga atmosférica por quatro pontos de impactos, são eles:

- **S1:** descargas atmosféricas na estrutura – podem causar danos mecânicos imediatos, fogo e/ou explosão, danos às pessoas por choque elétrico devido a tensões de passo e de toque resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos, falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a *Lightning Electromagnetic Impulse* (LEMP), impulso eletromagnético relampejante.
- **S2:** descargas atmosféricas próximas à estrutura – podem causar falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a LEMP.
- **S3:** descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura – podem causar danos a pessoas por

choque elétrico, fogo e/ou explosão, falha ou mau funcionamento de sistemas internos.

- **S4:** descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura – podem causar falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido à sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura.

Também são classificados os tipos básicos de danos que podem ser causados por descargas atmosféricas:

- **D1:** danos às pessoas devido a choque elétrico;
- **D2:** danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, liberação de produtos químicos) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;
- **D3:** falhas de sistemas internos devido a LEMP.

Já os tipos de perdas são classificados em quatro grupo, e podem aparecer como uma consequência de danos à estrutura, podem ser:

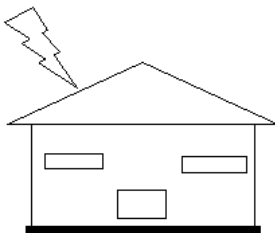
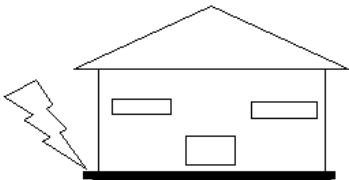


- **L1:** perda da vida humana (incluindo danos permanentes);
- **L2:** perda do serviço ao público;
- **L3:** perda do patrimônio cultural;
- **L4:** perda de valor econômico.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), considera como perda do serviço ao público os suprimentos de água, gás, energia e sinais de telecomunicações e TV. Outro ponto é que as perdas L1, L2 e L3 podem ser consideradas perdas de valor social, enquanto a L4 é simplesmente de valor econômico.

A tabela 4 apresenta a correspondência entre fonte de danos, tipos de danos e perdas.



Tabela 4 – Correspondência entre fonte de danos, tipos de danos e perdas

Ponto de impacto	Ilustração	Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
Próximas à estrutura		S2	D3	L1, L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
Próximas à linhas elétricas ou tubulação metálica		S4	D3	L1, L2, L4

Fonte: Adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015).

A tabela 5 foi construída com base nas informações apresentadas na primeira parte da norma que é objeto de estudo do presente trabalho, a demonstra os tipos de perdas resultantes dos tipos de danos e os riscos correspondentes.

Tabela 5 – Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos

	Risco <b>R1</b>	Risco <b>R2</b>	Risco <b>R3</b>	Risco <b>R4</b>
<b>Tipo de perda</b>	Perda da vida humana (L1)	Perda de serviço ao Público (L2)	Perda de patrimônio cultural (L3)	Perda de valor econômico (L4)
<b>Tipo de dano</b>	Dano aos seres vivos por choque elétrico Dano físico Falha de sistemas internos (por exemplo, hospitais em que a falha do sistema coloca em perigo a vida humana)	Dano físico Falha de sistemas internos	Dano físico	Dano aos seres vivos por choque elétrico Dano físico Falha de sistemas internos

Fonte: Elaborada pelo autor.

Santini (2016), relata que uma blindagem completa que seja capaz de reduzir a zero a chance de penetração de descargas atmosféricas é inviável, no entanto, quando utilizados os critérios estabelecidos pela NBR 5419-2015, a probabilidade de haver qualquer dano por descarga atmosférica é minimizada significativamente.

Os parâmetros das correntes das descargas atmosféricas são de suma importância para as medidas de proteção adotadas para reduzir tais danos e perdas permanentes, pois são projetadas a partir destes parâmetros. A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) classifica em quatro os níveis de proteção (NP), contra as descargas atmosféricas (do I ao IV), para cada um deles são estipulados um conjunto de parâmetros máximos e mínimos das correntes das descargas atmosféricas.

A norma explica que os valores máximos dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas correspondentes ao NP I, não podem ser excedidos, com uma probabilidade de 99%. E também que os valores máximos dos parâmetros correspondentes ao NP I, são reduzidas no NP II para 75% e para 50% nos NP III e

NP IV. Na tabela 6, pode-se encontrar os valores máximos de dos parâmetros das correntes para cada NP.

Tabela 6 – Valores máximos dos parâmetros da corrente da descarga atmosférica para cada NP

Primeiro impulso positivo			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Corrente de pico	$I$	$kA$	200	150	100	
Carga do impulso	$Q_{curta}$	$C$	100	75	50	
Energia específica	$W/R$	$MJ/\Omega$	10	5,6	2,5	
Parâmetros de tempo	$T_1/T_2$	$\mu s/\mu s$	10/350			
Primeiro impulso negativo <sup>a</sup>			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Valor de pico	$I$	$kA$	100	75	50	
Taxa média de variação	$di/dt$	$kA/\mu s$	100	75	50	
Parâmetros de tempo	$T_1/T_2$	$\mu s/\mu s$	1/200			
Impulso subsequente			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Valor de pico	$I$	$kA$	50	37,5	25	
Taxa média de variação	$di/dt$	$kA/\mu s$	200	150	100	
Parâmetros de tempo	$T_1/T_2$	$\mu s/\mu s$	0,25/100			
Componente longa de descarga atmosférica			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Carga da componente longa	$Q_{longa}$	$C$	200	150	100	
Parâmetros de tempo	$T_{longa}$	$s$	0,5			
Descarga atmosférica			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Carga da descarga atmosférica	$Q_{flash}$	$C$	300	225	150	
<sup>a</sup> O uso dessa fórmula de onda de corrente é de interesse somente para cálculos, não para ensaios						

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A atual versão da norma determina o posicionamento dos elementos condutores do SPDA de maneira otimizada através do método das esferas rolantes, onde o raio de atração da esfera é calculado a partir da mínima corrente de pico da descarga atmosférica estabelecida pela norma para cada nível de proteção.

Tabela 7 – Valores da corrente mínima de pico e do raio da esfera para cada NP

Critérios de interceptação			NP			
	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Corrente de pico mínima	$I$	$kA$	3	5	10	10
Raio da esfera rolante	$R$	$m$	20	30	45	60

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A tabela 7 apresenta os valores de mínimo da corrente de pico da descarga e os valores dos raios da esfera rolante para cada NP. Estes valores permitem a disponibilização dos componentes do subsistema de captação e das zonas de proteção contra descargas atmosféricas, que são classificadas pela ABNT NBR 5419-1:2015 conforme disposto abaixo:

- **ZPR 0<sub>A</sub>**: zona onde a ameaça é devido à queda direta e ao campo eletromagnético total da descarga atmosférica. Onde os sistemas internos podem estar sujeitos à corrente total ou parcial da descarga atmosférica;
- **ZPR 0<sub>B</sub>**: zona protegida contra queda direta, mas onde a ameaça é o campo eletromagnético total da descarga atmosférica. Os sistemas internos podem estar sujeitos à corrente parcial da descarga atmosférica;
- **ZPR 1**: zona onde a corrente de surto é limitada por uma divisão da corrente de descarga atmosférica e pela aplicação de interfaces isolantes e/ou dispositivos de proteção contra surtos (DPS) na fronteira. Uma blindagem espacial pode atenuar o campo eletromagnético da descarga atmosférica;
- **ZPR 2, ..., n**: zona onde a corrente de surto pode ser ainda mais limitada por uma divisão da corrente da descarga atmosférica e pela aplicação de interfaces isolantes de DPS adicionais na fronteira. Uma blindagem espacial adicional pode ser usada para atenuar ainda mais o campo eletromagnético da descarga atmosférica.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), cita que a estrutura a ser protegida deve estar em uma ZPR onde suas características eletromagnéticas sejam compatíveis com sua capacidade de suportar solicitações que

causariam danos. E que, em geral, quanto maior o número de uma ZPR em particular, menor serão os parâmetros do meio eletromagnético.

### **2.2.2 Parte 2 – Gerenciamento de risco**

Esta parte estabelece os requisitos para análise de risco em uma estrutura devido às descargas atmosféricas para a terra. Tem o propósito de fornecer um procedimento para a avaliação de tais riscos. Arbitrando um limite superior tolerável de risco, é possível a escolha das medidas de proteção apropriadas que possibilitam a redução do risco ao limite o abaixo do limite tolerável (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Quando uma descarga atmosférica incide na Terra, devem ser considerados todos os efeitos que provocam perdas, atenuados com as medidas de redução dos riscos e então comparadas ao risco tolerável normatizado. Para objeto de análise de risco de uma estrutura é interessante realizar a associação das fontes de danos (S1, S2, S3 e S4), aos tipos de danos (D1, D2, D3) e perdas (L1, L2, L3 e L4), como na tabela 4, uma vez que diferentes níveis de gravidade são apresentados por eles e são utilizados como fator de ponderação no cálculo de análise de risco (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

A segunda parte da norma explica que, o risco,  $R$ , é um valor relativo a uma provável perda anual média. Na tabela 6, pode-se observar que para cada tipo de perda que pode aparecer na estrutura, há um risco resultante que deve ser avaliado. Cada tipo de risco é decomposto em componentes, são eles:

Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura:

- $R_A$ : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 metros ao redor dos condutores de descidas. Perda tipo L1 para este risco, e caso haja na estrutura animais vivos, as perdas podem ser também do tipo L4. Em estruturas especiais, como por exemplo nível superior de estacionamentos ou estádios, é recomendado que esta etapa da norma seja considerada, pois os ocupantes do ambiente podem estar expostos às descargas atmosféricas;

- $R_B$ : componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão e colocar em perigo o meio ambiente. Neste caso considera-se todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4).
- $R_C$ : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP, podem ocorrer as perdas tipo L2 e L4. Soma-se a elas a perda tipo L1, no caso de estruturas com risco de explosão e hospitais ou estruturas onde falhas de sistemas internos possam colocar imediatamente a vida humana em perigo.

Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura:

- $R_M$ : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP, podem ocorrer as perdas tipo L2 e L4. Soma-se a elas a perda tipo L1, no caso de estruturas com risco de explosão e hospitais ou estruturas onde falhas de sistemas internos possam colocar imediatamente a vida humana em perigo.

Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura:

- $R_U$ : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Considera-se as perdas do tipo L1, podendo acrescentar as do tipo L4 no caso de propriedades agrícolas onde pode haver possíveis perdas de animais.
- $R_V$ : componente relativo a danos físicos, por exemplo, incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura, causados devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo da linha. Neste caso, considera-se todos os tipos de perdas ( L1, L2, L3 e L4).
- $R_W$ : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura. Podem

ocorrer perdas tipo L2 e L4. Nos casos de estruturas com risco de explosão e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam colocar imediatamente em perigo a vida humana.

Componentes de risco para a estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura.

- **$R_Z$** : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura. Podem ocorrer perdas tipo L2 e L4. Nos casos de estruturas com risco de explosão e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam colocar imediatamente em perigo a vida humana.

A tabela abaixo, retirada da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) apresenta uma relação dos componentes de risco para cada tipo de perda:

Tabela 8 – Relação do tipo de perda com os componentes de risco

Fonte de danos	S1			S2	S3			S4
Componente de risco	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
<b>Risco para cada tipo de perda</b>								
R1	X	X	X <sup>1</sup>	X <sup>1</sup>	X	X	X <sup>1</sup>	X <sup>1</sup>
R2		X	X	X		X	X	X
R3		X				X		
R4	X <sup>2</sup>	X	X	X	X <sup>2</sup>	X	X	X
<sup>1</sup> Apenas para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa colocar em perigo a vida humana. <sup>2</sup> Apenas para propriedades onde animais possam ser protegidos								

Fonte: Adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Não são consideradas como fonte de danos as descargas atmosféricas em tubulações ou perto delas, pois há uma interligação ao barramento de equipotencialização. Em caso de não existir o barramento, recomenda-se que este tipo de ameaça seja considerado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) demonstra como são calculados os componentes de risco que são considerados para cada tipo de perda:

$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X \quad (1)$$

Em que  $R_X$  é o componente de risco que se deseja calcular,  $N_X$  é o número de eventos perigosos por ano,  $P_X$  é a probabilidade de danos à estrutura e  $L_X$  é a perda consequente .

- **R1:** Risco de perda da vida humana:

$$R1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^* + R_{M1}^* + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^* + R_{Z1}^* \quad (2)$$

Onde há “\*”, considera-se somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou estruturas que quando há uma falha dos sistemas internos imediatamente põe em perigo a vida humana.

- **R2:** Risco de perda de serviço ao público:

$$R2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (3)$$

- **R3:** Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (4)$$

- **R4:** Risco de perdas de valor econômico:

$$R4 = R_{A4}^* + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^* + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (5)$$

Onde “\*” representa propriedades em que as descargas atmosféricas podem causar perdas de animais, como por exemplo uma propriedade rural, onde uma descarga atmosférica poderia causar a morte de bois gerando um prejuízo econômico para o dono.

A tabela 9 apresenta as características da estrutura e de possíveis medidas de proteção que influenciam os componentes de risco para uma estrutura.



Tabela 9 – Fatores que influenciam os componentes de risco

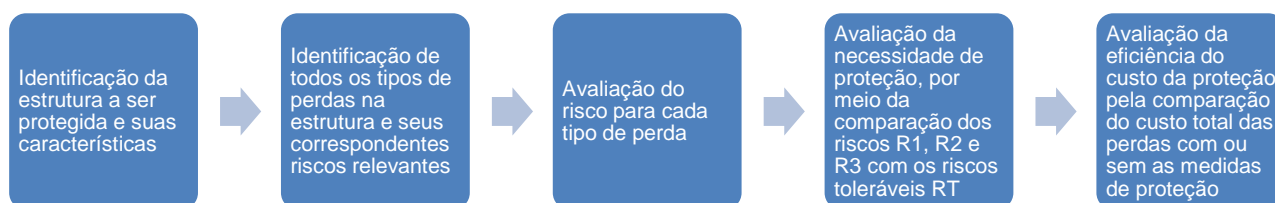
<b>Características da estrutura ou dos sistemas internos</b>	<b>RA</b>	<b>RB</b>	<b>RC</b>	<b>RM</b>	<b>RU</b>	<b>RV</b>	<b>RW</b>	<b>RZ</b>
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do solo	X				X			
Restrições físicas, isolamentos, avisos visíveis, equipotencialização do solo	X				X			
SPDA	X	X	X	X <sup>1</sup>	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X <sup>3</sup>	X <sup>3</sup>	X	X	X	X
Sistemas coordenado de DPS			X	X			X	X
Blindagem especial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
Sistemas de equipotencialização			X					
Precauções contra incêndios		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X
<sup>1</sup> somente para SPDA tipo malha externa <sup>2</sup> devido a ligações equipotenciais <sup>3</sup> somente se eles pertencem ao equipamento								

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015).

É possível encontrar na ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) uma lista de cinco itens que devem ser checados para o procedimento básico do gerenciamento de risco, estes itens estão apresentados na figura 10, onde as

etapas deste processo são apresentadas na ordem passo a passo que devem ser realizadas:

Figura 10 – Passo a passo do processo de gerenciamento de risco



Fonte: Elaborada pelo autor

A tabela 10 apresenta os valores de risco tolerável, RT, para cada tipo de perda. Após o cálculo das componentes de risco e da soma dos tipos de riscos, compara-se o valor obtido com o valor do risco tolerável para os tipos de perdas que foram consideradas.

Tabela 10 – Valores de risco tolerável (RT)

Tipo de perda		RT
<b>L1</b>	Perda da vida humana ou ferimentos permanentes	$10^{-5}$
<b>L2</b>	Perda do serviço ao público	$10^{-3}$
<b>L3</b>	Perda de patrimônio cultural	$10^{-4}$
<b>L4*</b>	Perda de valor econômico	$10^{-3}$
* Valor representativo quando não estão disponíveis a comparação custo/benefício		

Fonte: Adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

#### 2.2.2.1 Número de eventos perigosos por ano $N_x$

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) diz que a atividade atmosférica anual da região onde se localiza a estrutura além das características físicas da estrutura a ser protegida são dependentes do número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas, podendo ser calculadas a partir da seguinte equação:

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

Onde,  $N_D$  é a quantidade de descargas atmosféricas para a terra na localização da estrutura por ano;  $N_G$  é a densidade de descargas atmosféricas para a terra por

quilômetro quadrado por ano;  $A_D$  é a área de exposição equivalente da estrutura em metros quadrados e  $C_D$  é o fator de localização da estrutura.

Outro fator que deve-se levar em consideração é o número médio anual de eventos perigosos devido a descarga atmosférica na linha, o qual pode ser calculado a partir da equação 7:

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

Onde,  $N_L$  é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV por ano na seção da linha,  $A_L$  é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, é quarenta vezes o comprimento da linha, onde, de acordo com a norma, deve-se considerar o comprimento da linha igual a mil metros, quando não se tem conhecimento do comprimento real da linha.  $C_I$  é o fator de instalação da linha,  $C_E$  é o fator ambiental e  $C_T$  é o fator do tipo da linha que interliga as estruturas. Os valores dos fatores de instalação, ambiental e tipo da linha que interliga a estrutura podem ser encontrados na tabela 11.

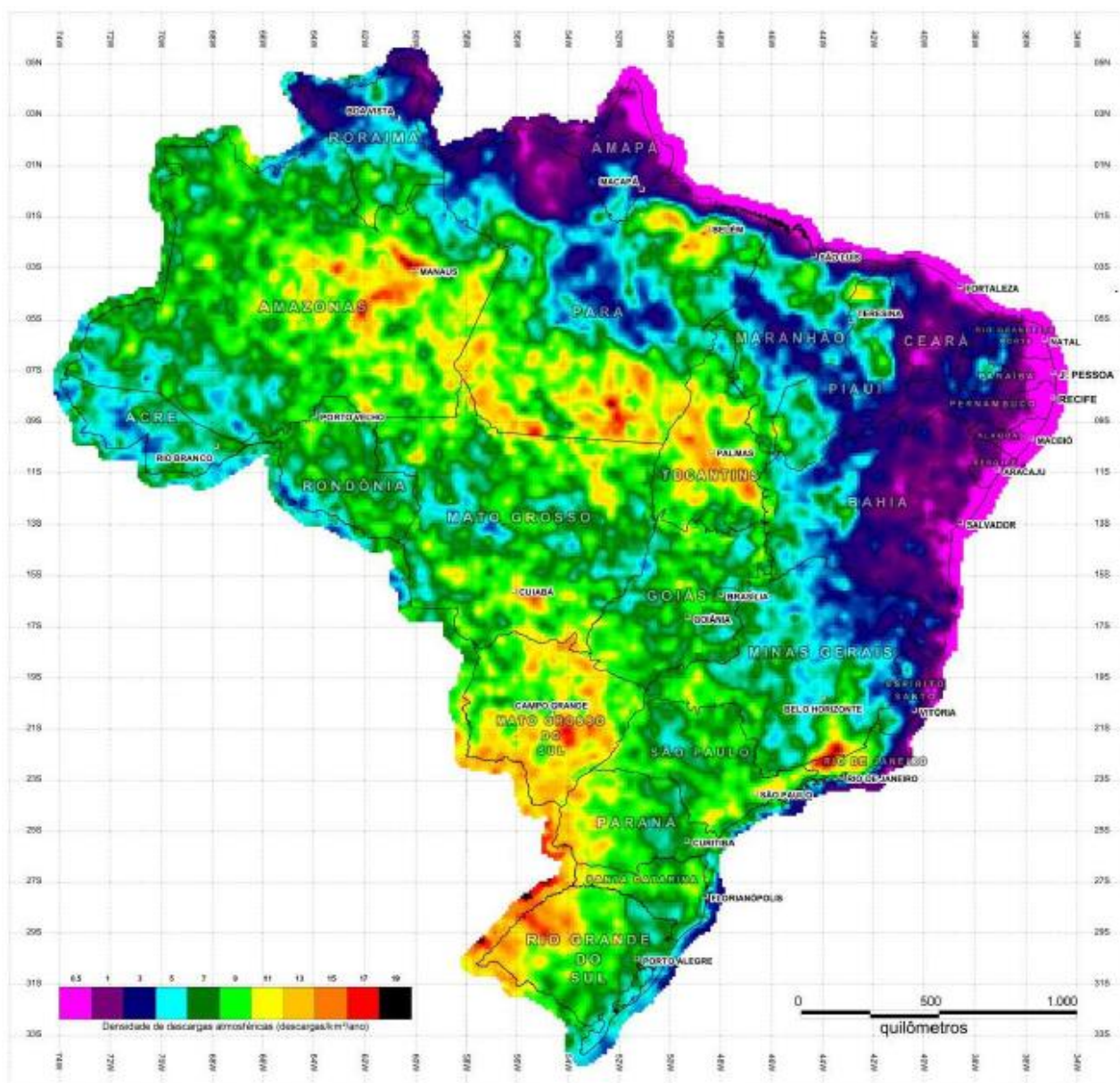
Tabela 11 – Fatores relevantes

<b>Fator de instalação da linha</b>	
Roteamento	$C_I$
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados completamente dentro e interligado a uma linha de aterramento	0,01
<b>Fator ambiental da linha</b>	
Instalação	$C_E$
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios maiores de 20 metros	0,01
<b>Fator do tipo da linha</b>	
Instalação	$C_T$
Linha de sinal ou de energia	1
Linha de energia em alta tensão com transformador AT/BT	0,2

Fonte: Adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

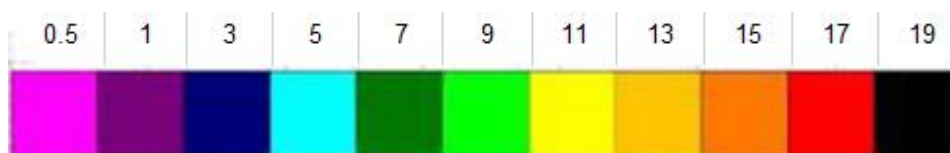
Pode-se obter o número médio de descargas atmosféricas por ano através do mapa, representado na figura 11, de densidades de descargas atmosféricas por ano gerado pelo ELAT/INPE a partir dos registros de pulsos luminosos capturados do espaço.

Figura 11 – Mapa nacional da densidade de descargas atmosféricas.



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Figura 12 - Legenda do mapa de descargas atmosféricas ampliada



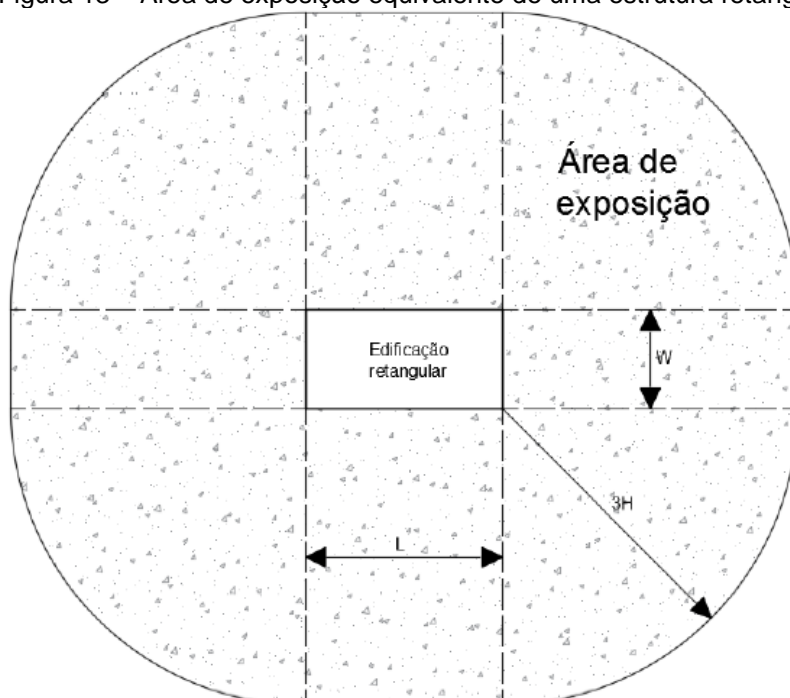
Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A figura 12 demonstra a legenda do mapa disposto na figura 11 de forma ampliada. Observa-se que é uma escala de cores contendo dez valores de densidade de descargas atmosféricas.

As características geométricas da estrutura são o que determinam a sua área de exposição  $A_D$ . A identificação mais simples da  $A_D$  de uma estrutura ocorre quando sua forma é retangular de comprimento  $L$ , largura  $W$  e altura  $H$ , como mostra a hachura da figura 13, podendo ser calculada a partir da equação (8) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

$$A_D = L \cdot W + 2 \cdot (3 \cdot H) \cdot (L + W) + \pi \cdot (3 \cdot H)^2 \quad (8)$$

Figura 13 – Área de exposição equivalente de uma estrutura retangular



Fonte: SANTINI (2016)

No caso de uma estrutura possuir uma forma mais complexa, a exemplo da figura 14, deve-se utilizar do método gráfico para o cálculo da sua área de exposição. Pode-se estimar um valor aproximado para a área de exposição de uma estrutura retangular com saliências na cobertura pela superposição da área de exposição da estrutura retangular regular com as áreas de exposição das saliências no topo da estrutura, conforme demonstrado na figura 15 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Figura 14 – Estrutura de forma complexa

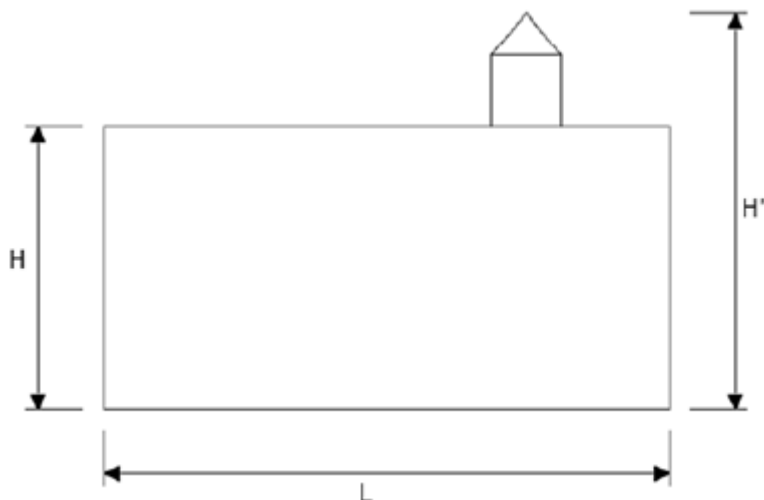
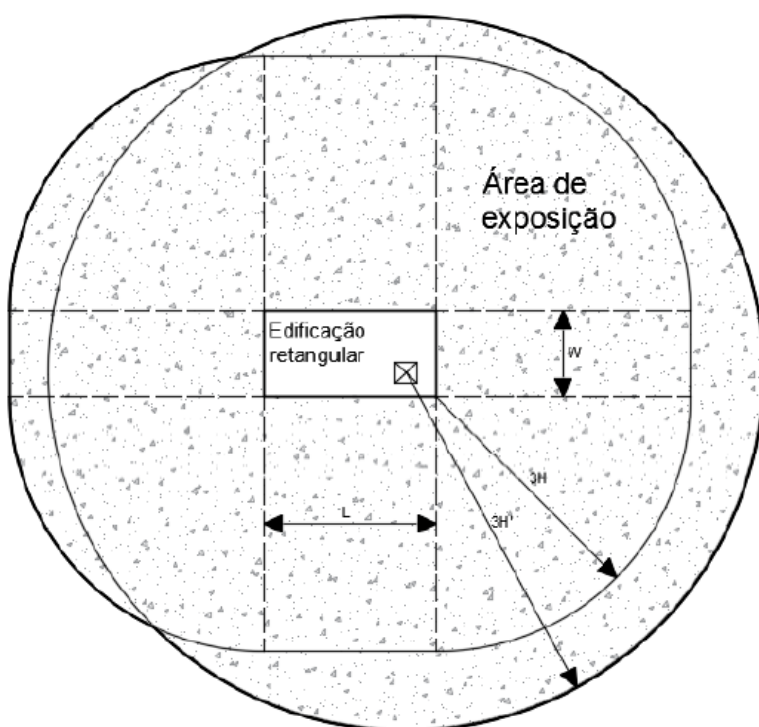


Figura 15 – Área de exposição equivalente de uma estrutura de forma complexa



Fonte: SANTINI (2016)

Calcula-se a área de exposição da estrutura saliente a partir da seguinte equação:

$$A'_D = (3.H')^2 \quad (9)$$

Em que  $A'_D$  é a área de exposição equivalente da saliência no topo da estrutura e  $H'$  é a altura do topo da saliência em relação ao solo.

A norma explica que se deve levar em consideração, através do fator de localização  $C_D$ , a localização relativa da estrutura compensada pelas estruturas ao redor ou uma localização exposta referentes a edificações aos arredores ou no solo dentro de uma distância igual a três vezes a altura da estrutura a ser protegida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

A tabela 12 apresenta alguns valores do fator de localização da estrutura.

Tabela 12 – Valores do fator de localização

Localização relativa	$C_D$
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Deve-se prever a quantidade média de eventos perigosos devido à descarga atmosférica, quando há uma interligação por uma linha de sinal ou de energia entre a estrutura a ser protegida e uma estrutura adjacente ao seu redor, a estrutura conectada na extremidade de uma linha que entra na edificação deve ser protegida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

A quantidade média de eventos perigosos a uma estrutura adjacente deve ser calculada a partir da equação (10)

$$N_{DJ} = N_G \cdot A_{DJ} \cdot C_D \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (10)$$

Onde

$N_G$  continua sendo a densidade de descargas atmosféricas para a terra;

$N_{DJ}$  é a quantidade de descargas atmosféricas para a terra na estrutura adjacente por ano;

$A_{DJ}$  é a área de exposição equivalente da estrutura adjacente;

$C_D$  é o fator de localização da estrutura adjacente;

$C_T$  é o fator do tipo de linha que interliga as estruturas.

### 2.2.2.2 Probabilidade de danos à estrutura $P_X$

Na nova versão da norma são disponibilizados valores de probabilidades de danos nas estruturas para o cálculo de ponderação do risco da edificação a ser protegida, no entanto a execução do SPDA deve ser realizada seguindo rigorosamente os requisitos da norma. Através da equação (12) é possível calcular a probabilidade de uma descarga atmosférica por meio de choque elétrico causar lesões a seres vivos.

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B \quad (12)$$

Em que  $P_A$  corresponde a probabilidade de ferimentos causados por choque elétrico a seres vivos,  $P_{TA}$  representa a probabilidade de uma descarga atmosférica causar choques a seres vivos por tensão de passo e toque perigosas e  $P_B$  é a probabilidade da descarga atmosférica causar danos físicos a estrutura.

Os valores da probabilidade de choques elétricos a seres vivos,  $P_{TA}$ , e de danos físicos a estrutura,  $P_B$ , causados por efeitos das descargas atmosféricas podem ser encontrados na tabela 13 e tabela 14, respectivamente.

Tabela 13 – Valores da probabilidade de choques elétricos a seres vivos devido tensões de toque e de passos perigosas

<b>Medida de proteção adicional</b>	<b><math>P_{TA}</math></b>
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	0,1
Isolação elétrica	0,01
Equipotencialização efetiva do solo	0,01
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)



Tabela 14 – Valores da probabilidade de danos físicos na estrutura devido a descarga atmosférica

<b>Características da estrutura</b>	<b>Classe do SPDA</b>	<b><math>P_B</math></b>
Não protegida por SPDA	-	1
Protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,5
	I	0,2
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A instalação de um DPS aquedado à medida de proteção pode reduzir a probabilidade da ocorrência de falhas nos sistemas internos causados por descargas atmosféricas, pois tem influência direta no cálculo de tal probabilidade, que pode ser estimada pela equação (13):

$$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD} \quad (13)$$

Onde a probabilidade de falhas nos sistemas internos é  $P_C$ ,  $P_{SPD}$  é a probabilidade de uma descarga causar falhas nos sistemas internos dependente do DPS, encontrado na tabela 15, e  $C_{LD}$  é o fator que depende das condições de blindagem, aterramento e isolamento da linha que o sistema interno está conectado, apresentado na tabela 16.

Tabela 15 – Valores de probabilidade de  $P_{SPD}$  em função do NP

<b>Nível de Proteção</b>	<b><math>P_{SPD}</math></b>
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
DPS com melhores características de proteção	0,005 – 0,001

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Tabela 16 – Valores de fator  $C_{LD}$  e  $C_{LI}$  dependendo da blindagem, aterramento e isolamento

<b>Tipo de linha externa</b>	<b>Conexão na entrada</b>	<b><math>C_{LD}</math></b>	<b><math>C_{LI}</math></b>
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiaterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
Nenhuma linha externa	Sem conexões com linhas externas	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolante	0	0

Fonte: Adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A probabilidade  $P_M$  de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha nos sistemas internos, depende da probabilidade  $P_{SPD}$ , tabela 15 e da probabilidade  $P_{MS}$ , que é uma probabilidade que depende das características da blindagem e dos circuitos internos da estrutura, equação (15).  $P_M$  pode ser obtida através da equação (14):

$$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS} \quad (14)$$

$$P_{MS} = (K_{S1} + K_{S2} + K_{S3} + K_{S4})^2 \quad (15)$$

$$K_{S1} = 0,12 \cdot w_{m1} \quad (16)$$

$$K_{S2} = 0,12 \cdot w_{m2} \quad (17)$$

$$K_{S4} = 01 / U_W \quad (18)$$

Onde:

$K_{S3}$  é o fator que leva em consideração as características dos circuitos internos da estrutura, encontrado na tabela 17;

Equação (16), fator que depende da eficiência blindagem por malha da estrutura, SPDA ou quaisquer outros tipos de blindagens;

Equação (17), fator que considera a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura;

Equação (18), fator que considera a tensão suportável de impulso do sistema;

$w_{m1}$  e  $w_{m2}$  são as larguras, em mm, de blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA tipo malha ou o espaçamento entre as colunas metálicas da estrutura ou o espaçamento entre as estruturas de concreto armado atuando como um SPDA natural;

$U_W$  é a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido.

Tabela 17 – Valores do fator  $K_{S3}$  em função da fiação interna da estrutura

<b>Tipo de fiação interna</b>	<b><math>K_{S3}</math></b>
Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	1
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços	0,2
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos	0,001

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) ressalva que os fatores utilizados para determinação das probabilidades de falha de sistemas internos das estruturas, calculados nas equações (16), (17) e (18), são limitados a 1. Caso haja equipamentos com diferentes níveis de tensão suportável ao impulso em um sistema interno, o fator  $K_{S4}$  deverá ser escolhido o que corresponder ao menor nível de tensão suportável de impulso.

Consequências como ferimentos a seres vivos por choque elétrico, danos físicos a estrutura a ser protegida, falhas nos sistemas internos da estrutura, podem ser causas da incidência direta de descargas atmosféricas a uma linha de sinal ou de energia que penetram a estrutura. As probabilidades de tais consequências podem ser calculadas a partir das equações abaixo:

$$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (19)$$

$$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (20)$$

$$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (21)$$

Onde:

$P_U$  é a probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha de sinal ou de energia e causar ferimentos por choque elétrico a seres vivos;

$P_{TU}$  é a probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha que penetre uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas, levando em conta a instalação ou não das medidas de proteção contra tensão de toque, tabela 18;

$P_{EB}$  é a probabilidade de uma linha que penetre a estrutura ser atingida por uma descarga atmosférica causar choque e tensão de toque perigosas a seres vivos, levando em consideração o NP em que os DPS foram projetados, tabela 18;

$P_{LD}$  é a probabilidade de falha nos sistemas internos devido a uma descarga atmosférica em uma linha que penetra a estrutura de interesse em função das características da linha, tabela 19;

$C_{LD}$  é um fator que depende da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha, tabela 16;

$P_V$  é a probabilidade de uma descarga atingir uma linha que penetra a estrutura e causar danos físicos na estrutura que deve ser protegida;

$P_W$  é a probabilidade de uma descarga atingir uma linha que penetre a estrutura e causar falhas nos sistemas internos da estrutura;

$P_{SPD}$  é a probabilidade que depende do sistema coordenado de DPS e o nível de proteção para o qual foram dimensionados, tabela 15.

Tabela 18 – Valores das probabilidades de  $P_{TU}$  e  $P_{EB}$

Medida de proteção	$P_{TU}$
Nenhuma	1
Avisos visíveis de alerta	0,1
Isolação elétrica	0,01
Restrições físicas	0
Nível de proteção	$P_{EB}$
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
DPS com melhores características de proteção	0,005-0,001

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Tabela 19 - Valores da probabilidade  $P_{LD}$  em função da resistência da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso do equipamento

Tipo de linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável $U_W$ em quilovolts				
			1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia ou sinal	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento		1	1	1	1	1
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5 < R_S \leq 20 \text{ } [\Omega/\text{km}]$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1 < R_S \leq 5 \text{ } [\Omega/\text{km}]$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 5 \text{ } [\Omega/\text{km}]$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Por fim, a equação (22) é utilizada para o cálculo da probabilidade  $P_Z$  de um descarga atmosférica perto de uma linha que penetra a estrutura causar falha dos sistemas internos dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso do sistema conectado à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

$$P_Z = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI} \quad (22)$$

Em que

$P_Z$  é a probabilidade de uma descarga próxima a uma linha causar falha nos sistemas internos da estrutura;

$P_{SPD}$  tabela 15;

$P_{LI}$  é uma probabilidade em função do tipo da linha que penetra a estrutura a ser protegida e da tensão suportável dos equipamentos, tabela 20;

$C_{LI}$  fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolamento da linha, tabela 16.

Tabela 20 – Valores da probabilidade  $P_{LI}$  em função do tipo da linha e da tensão suportável de impulso dos equipamentos

Tipo da linha	Tensão suportável $U_W$ em quilovolts				
	1	1,5	2,5	4	6
Energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Sinal	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

### 2.2.2.3 Perda consequente $L_X$

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) apresenta uma divisão de possíveis perdas causadas por descargas atmosféricas já apresentadas neste trabalho, L1, L2, L3 e L4, onde cada tipo de perda deve ser relacionado para cada tipo de dano, também já mencionados neste trabalho, D1, D2 e D3. A norma ressalva que o valor da vida humana deve ser calculado para cada zona de proteção da estrutura e dependem de fatores de aumento e diminuição que estão relacionados ao número de pessoas que frequentam cada zona, a totalidade da estrutura, o tempo em horas por ano em que as pessoas estão presentes na zona. A tabela 21 apresenta equações que podem ser utilizadas para o cálculo dos tipos de danos D1, D2 e D3.

Tabela 21 – Valores de perda para cada zona – Perda de vida humana

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = L_U = r_t \cdot L_T \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}$	(23)
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}$	(24)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}$	(25)

Fonte: Adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Em que:

$L_A$  e  $L_U$  são, respectivamente, perdas equivalentes devido a descargas atmosféricas que atingem diretamente a estrutura e linha conectada a estrutura, causadas por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura;

$L_B$  e  $L_V$  são, respectivamente, perdas causadas por descargas que atingem diretamente a estrutura e linha conectada a estrutura, causadas por centelhamento perigoso, podendo gerar incêndio ou explosão;

$L_C$ ,  $L_M$ ,  $L_W$  e  $L_Z$  são, respectivamente, perdas equivalentes a falhas dos sistemas internos causados por LEMP para descargas que atingem diretamente a estrutura, próxima da estrutura, em uma linha conectada a estrutura e próxima a uma linha conectada a estrutura;

$L_T$  é o número típico médio de vítimas feridas por choque elétrico devido a um evento perigoso, tabela 22;

$L_F$  é o número típico médio de vítimas por dano físico devido a um evento perigoso, tabela 22;

$L_O$  é o número típico médio de vítimas por falha no sistema interno devido a um evento perigoso, tabela 22;

$r_t$  é um fator de redução da perda em função do tipo de solo ou piso, tabela 23;

$r_p$  é o fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para o risco de explosão na estrutura, tabela 24;

$r_f$  é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou explosão da estrutura, tabela 25;

$h_z$  é um fator de aumento da perda da vida humana devido a danos físicos quando algum perigo especial estiver presente, tabela 26;

$n_z$  número de pessoas dentro da zona;

$n_t$  número total de pessoas na estrutura;

$t_z$  tempo em horas por ano, em que as pessoas estão presentes na zona.

Tabela 22 – Valores médios típicos de perda correspondente ao tipo de estrutura

Tipo de Dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura
D1	$L_T$	0,01	Todos os tipos
D2	$L_F$	1	Risco de explosão
		0,5	Hospital, hotel, escola ou edifício cívico
		0,2	Entretenimento público, igreja ou museu
			Industrial ou comercial
		0,1	Outros
D3	$L_O$	0,1	Risco de explosão
		0,01	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		0,0001	Outras partes do hospital

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Tabela 23 – Fator de redução em função da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície	Resistência de contato $k\Omega$	$r_t$
Agricultura ou concreto	$\leq 1$	0,01
Mármore ou cerâmica	1 – 10	0,001
Cascalho, tapete ou carpete	10 – 100	0,0001
Asfalto, linóleo ou madeira	$\geq 100$	0,00001

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Tabela 24 – Fator de redução em função das providências tomadas para redução das consequências de incêndio

Providências	$r_p$
Nenhuma ou estrutura com qualquer risco de explosão	1
Extintores, instalações de alarme manuais, instalações físicas operadas manualmente, hidrantes, compartimentos a prova de fogo ou rotas de escape	0,5
Instalações físicas operadas manualmente ou instalações de alarme automático se protegidas contra sobretensões e outros danos e considerando que os bombeiros possam chegar em menos de 10 minutos	0,2

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)



Tabela 25 – Fator de redução em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

<b>Risco</b>	<b>Quantidade de risco</b>	<b><math>r_f</math></b>
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	0,1
	Zonas 2, 22	0,001
Incêndio	Alto	0,1
	Normal	0,01
	Baixo	0,001
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) explica que no caso de uma estrutura com risco de explosão, o valor  $r_f$ , pode necessitar de uma avaliação mais detalhada.

Estruturas com alto risco de incêndio podem ser assumidas como sendo estruturas feitas de materiais combustíveis ou estruturas com carga específica de incêndio maior que 800 MJ/m<sup>2</sup>. Enquanto as com risco normal de incêndio tem carga específica entre 800 MJ/m<sup>2</sup> e 400MJ/m<sup>2</sup>. Já as com baixo risco de incêndio possuem carga específica menor que 400 MJ/m<sup>2</sup> (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Tabela 26 – Fator de aumento de quantidade relativa de perda na presença de perigo especial

<b>Tipo de perigo especial</b>	<b><math>h_z</math></b>
Nenhum	1
Baixo nível de pânico, com menos de 100 pessoas na estrutura	2
Nível médio de pânico, para eventos culturais ou esportivos com número de pessoas entre 100 e 1000	5
Dificuldade de evacuação	5
Alto nível de pânico, para eventos culturais ou esportivos com número de pessoas excedendo 1000	10

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Quanto a perda de serviço ao público, a norma explica que tais perdas são afetadas pelas características da zona da estrutura e que o valor máximo de perda devido a dano na zona deve ser reduzido pela relação entre o número de usuários servidos pela zona e o número total de usuários servidos pela estrutura inteira.

A tabela 27 apresenta equações que podem ser utilizadas para a realização do cálculo dos tipos de danos D2 e D3:

Tabela 27 – Valores de perda para cada zona. Perda do serviço ao público

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{n_Z}{n_t}$	(26)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot \frac{n_Z}{n_t}$	(27)

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Onde:

$L_C, L_M, L_W, L_Z, L_B, L_V, r_p, r_f, n_Z$  e  $n_t$  possuem as mesmas representatividades da tabela 2.2-20;

$L_F$  é o número típico médio de usuários não servidos por dano físico devido a um evento perigoso, tabela 28;

$L_O$  é o número típico médio de usuários não servidos por falha no sistema interno devido a um evento perigoso, tabela 28.

Tabela 28 – Valores médio típicos. Perda de serviço ao público

Tipo de Dano	Valor típico de perda	Tipo de serviço
D2	$L_F$	0,1 Gás, água ou fornecimento de energia
		0,01 TV ou linhas de sinais
D3	$L_O$	0,01 Gás, água ou fornecimento de energia
		0,001 TV ou linhas de sinais

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

O valor da perda ao patrimônio cultural para cada zona deve ser determinado de acordo com a tabela 29:

Tabela 29 - Valores de perda para cada zona. Perda do patrimônio cultural

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{C_Z}{C_t}$	(28)

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Em que:

$L_B, L_V, r_p$  e  $r_f$  possuem as mesmas representatividades das equações na tabela 21;

$L_F$  é o número típico de todos os valores atingidos por dano físico devido a um evento perigoso, tabela 30;

$C_Z$  é o valor do patrimônio cultural da zona;

$C_t$  é o valor o valor total da edificação e conteúdo da estrutura.

Tabela 30 - Valores médio típicos. Perda de patrimônio cultural

Tipo de Dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura ou zona
D2	$L_F$	0,1	Museus ou galerias

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

As perdas econômicas apresentam os tipos de danos D1, D2 e D3, suas perdas típicas podem ser calculadas a partir das equações expostas na tabela 31:

Tabela 31 – Valores de perda para cada zona. Perda econômica

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = L_U = r_t \cdot L_T \cdot \frac{C_a}{C_t}$	(29)
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{C_a + C_b + C_c + C_s}{C_t}$	(30)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot \frac{C_s}{C_t}$	(31)

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Em que:

$L_A, L_U, L_B, L_V, L_C, L_M, L_W, L_Z, r_t, r_p$  e  $r_f$  possuem as mesmas representatividades da tabela 21;

$L_T$  é o valor relativo médio de todos os valores danificados por choque elétrico devido a um evento perigoso, tabela 32;

$L_F$  é o valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos devido a um evento perigoso, tabela 32;

$L_O$  é o valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos devido a um evento perigoso, tabela 32;

$C_a$  é o valor dos animais na zona;

$C_b$  é o valor da edificação relevante à zona;

$C_c$  é o valor do conteúdo da zona;

$C_s$  é o valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona;

$C_t$  é o valor total da estrutura.

Tabela 32 - Valores médio típicos. Perda econômica

Tipo de Dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura
D1	$L_T$	0,01	Todos os tipos onde somente há animais presentes
D2	$L_F$	1	Risco de explosão
		0,5	Hospital, industrial, museu e agricultura
		0,2	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público e comercial
		0,1	Outros
D3	$L_O$	0,1	Risco de explosão
		0,01	Hospital, industrial, escritório, hotel e comercial
		0,001	Museu, agricultura, escola, igreja e entretenimento público
		0,0001	Outros

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) afirma que o risco tolerável, RT, para perdas de valor econômico estabelecido na tabela 10, deve ser utilizado apenas quando não há dados para a análise de custo, caso contrário deve-se estabelecer uma avaliação de custo. A norma ainda disponibiliza uma equação (32), em que pode-se determinar se valor econômico anual é positivo ou não, caso seja positivo o SPDA justifica o investimento.

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad (32)$$

Onde:

$S_M$  é o valor econômico anual em R\$;

$C_L$  é o custo da perda em uma determinada zona, em R\$, equação (33) da tabela 2.2-32;

$C_{PM}$  é o custo anual das medidas de proteção, em R\$, equação (34) da tabela 2.2-32;

$C_{RL}$  é o custo total da perda residual em uma estrutura apesar das medidas de proteção, em R\$, equação (35) da tabela 33.

Tabela 33 – Equações para cálculo de custos

Tipo de custo	Cálculo do custo	Equação
$C_L$	$C_L = R_4 \cdot c_t$	(33)
$C_{PM}$	$C_{PM} = C_P (i + a + m)$	(34)
$C_{RL}$	$C_{RL} = \sum R'_{4Z} \cdot c_t$	(35)

Fonte: Elaborada pelo autor

Em que:

$C_L$  é o custo da perda em uma determinada zona, em R\$;

$R_4$  é o risco associado à perda de valor em todas as zonas;

$c_t$  é o custo total da estrutura, em R\$;

$C_{PM}$  é o custo anual das medidas de proteção, em R\$;

$C_P$  é o custo de medidas de proteção, em R\$;

$i$  é a taxa de juros;

$a$  é a taxa de amortização;

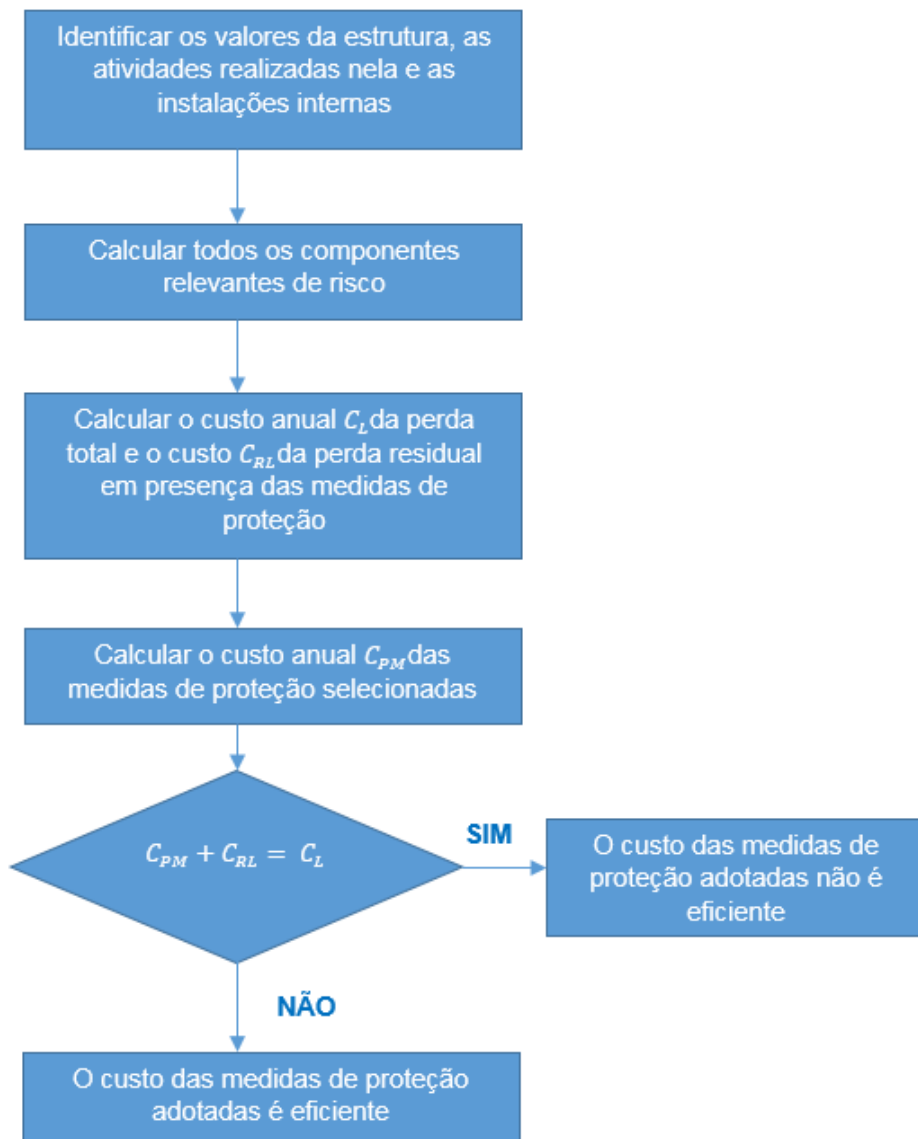
$m$  é a taxa de manutenção;

$C_{RL}$  é o custo total de perda residual em uma estrutura, em R\$, apesar das medidas de proteção;

$R'_{4Z}$  é o risco relacionado à perda de valor em uma zona desconsiderando as medidas de proteção.

A norma cita que além da necessidade da proteção contra descargas atmosféricas, a verificação dos benefícios econômicos da instalação das medidas de proteção pode ser útil na questão de redução de perdas econômicas. A figura 16 apresenta um fluxograma do procedimento de avaliação da eficiência do custo das medidas de proteção.

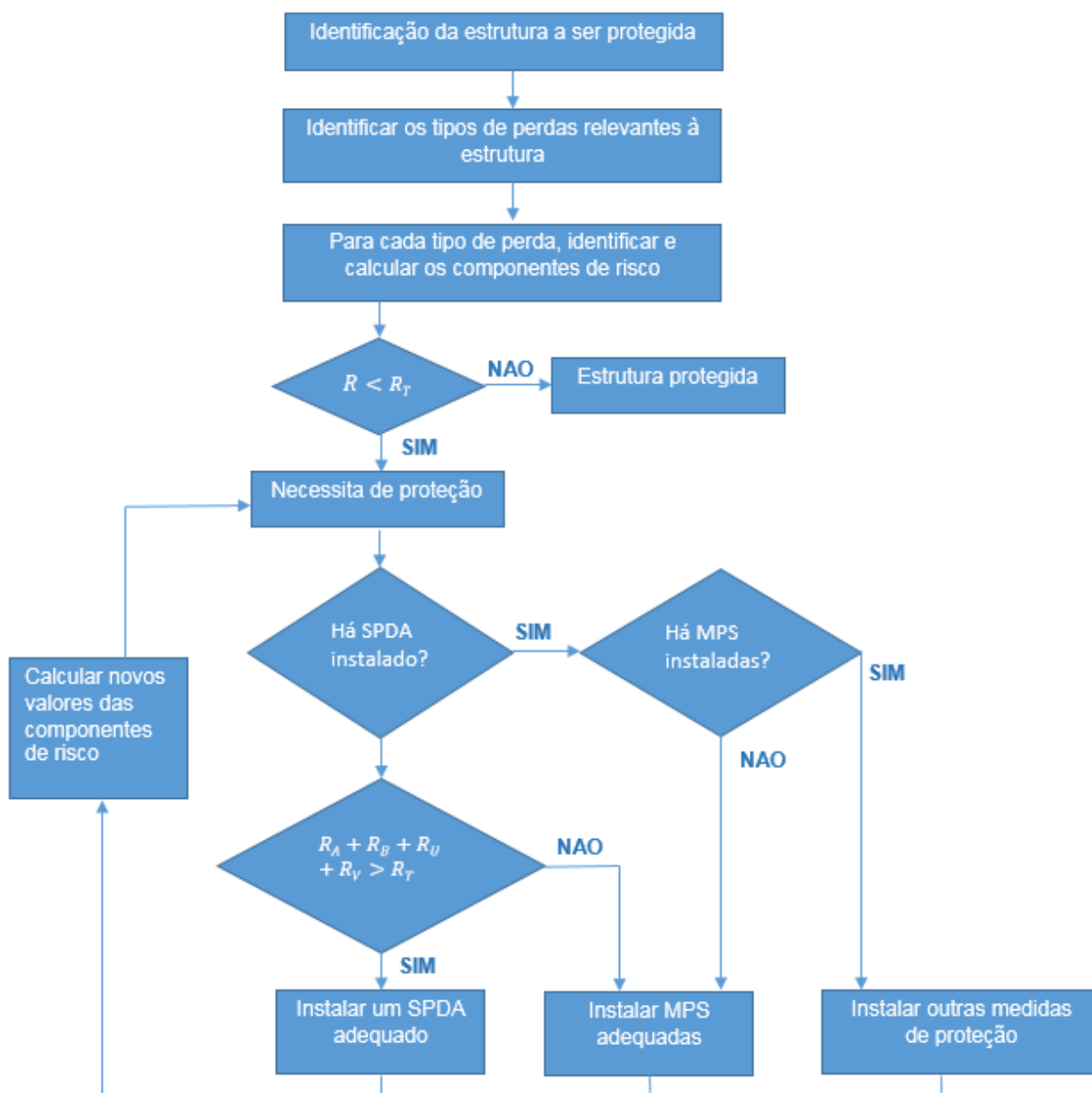
Figura 16 – Fluxograma do procedimento de avaliação da eficiência do custo das medidas de proteção



Fonte: Adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A avaliação de cada tipo de risco em uma estrutura em conjunto com a comparação do risco total com os riscos toleráveis para cada tipo de perda é basicamente o que compõe a necessidade de um SPDA para uma estrutura. Com base neste ponto de vista, a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) esclarece que caso o risco calculado seja menor que o risco tolerável, não há a necessidade da instalação de um SPDA, caso contrário, risco calculado  $> RT$ , deve-se adotar medidas de proteção objetivando a redução do risco total. Um fluxograma do procedimento para a avaliação da necessidade de um SPDA é representado na figura 17.

Figura 17 – Fluxograma do procedimento para a avaliação da necessidade de um SPDA



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

### 2.2.3 Parte 3 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida

É a parte que trata da proteção, no interior e ao redor da estrutura, contra danos físicos e lesões a seres vivos causados por efeitos da descarga atmosférica. A norma aponta que a medida mais eficiente contra esse tipo de dano é o sistema de proteção contra descarga atmosférica - SPDA, que normalmente é composto por um sistema de proteção interno e um externo que é composto por três subsistemas, captação, descida e aterramento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

O sistema de proteção externo é destinado a, por meio do subsistema de captação, interceptar uma descarga atmosférica para a estrutura protegida, conduzir a corrente da descarga de forma segura para a terra, através do subsistema de descida, e dispersar a corrente da descarga atmosférica na terra, por meio do subsistema de aterramento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

O SPDA externo pode ser isolado da estrutura a ser protegida, quando o subsistema de captação e descida são posicionados de uma maneira que o caminho da corrente não fique em contato com a estrutura a ser protegida. E pode ser também não isolado, o tipo mais comum, quando os subsistemas de captação e descidas são distribuídos de uma maneira que o caminho da corrente esteja em contato com a estrutura a ser protegida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Já o sistema de proteção interno é destinado a redução dos riscos com centelhamentos perigosos dentro do volume de proteção criado pelo sistema externo utilizando isolamento elétrica ou ligações equipotenciais entre os componentes do sistema externo e outros elementos eletricamente condutores internos à estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015).

A norma relata que o nível de proteção e as características da estrutura a ser protegida são o que determinam as características do sistema de proteção contra descargas atmosféricas que deve ser utilizado. A tabela 34 apresenta uma relação do nível de proteção com as classes de SPDA.

Tabela 34 – Relação do nível de proteção e classes de SPDA

<b>Nível de proteção</b>	<b>Classe de SPDA</b>
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

A atualização da norma trouxe um aumento da quantidade de materiais a serem utilizados nos subsistemas do sistema de proteção externo. A norma determina que na construção civil devam ser utilizados materiais que possam suportar a corrosão da



estrutura protegida e dos componentes do SPDA e os efeitos eletromagnéticos da corrente da descarga (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015)

A tabela 35 apresenta uma lista de materiais que a norma recomenda na utilização da construção do SPDA devido as suas características de comportamento mecânico, elétrico e de corrosão.

Tabela 35 – Materiais para SPDA e condições de utilização

Material	Aplicação				Corrosão		
	Ao ar livre	Enterrado	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Risco agravado	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico
Cobre	Maciço, encordoado ou como cobertura	Maciço, encordoado ou como cobertura	Maciço, encordoado ou como cobertura	Não permitido	Boa em muitos ambientes	Compostos sulfurados; Materiais orgânicos; Altos conteúdos de cloretos.	-
Aço galvanizado a quente	Maciço ou encordoado	Maciço ou encordoado	Maciço ou encordoado	Maciço ou encordoado	Aceitável no ar, em cloreto e em solos salubres	Altos conteúdos de cloretos.	Cobre
Aço inoxidável	Maciço ou encordoado	Maciço ou encordoado	Maciço ou encordoado	Maciço ou encordoado	Boa em muitos ambientes	Altos conteúdos de cloretos.	-
Aço revestido por cobre	Maciço ou encordoado	Maciço ou encordoado	Maciço ou encordoado	Não permitido	Boa em muitos ambientes	Compostos sulfurados	-
Alumínio	Maciço ou encordoado	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Boa em atmosferas com baixa concentração de sulfadrado e cloreto	Soluções alcalinas	Cobre

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Para evitar afrouxamento ou quebra de condutores por forças eletrodinâmicas ou até mesmo mecanismos acidentais, a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), estipula que a fixação entre os condutores do SPDA devem estar em até um metro um do outro, quando os condutores estiverem em sentido horizontal, e 1,5 metros em sentido vertical. A norma ainda cita que é vetado a utilização de emendas nos condutores e que as conexões dos condutores além de serem minimizadas, devem ser realizadas por meio de solda exotérmica ou elétrica ou conexões mecânicas de pressão ou compressão.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) disponibiliza informações com valores e materiais para o dimensionamento dos elementos dos subsistemas de captação e de descida, tabela 36, e de aterramento do SPDA, tabela 37.

Tabela 36 – Condições de aplicação dos materiais dos subsistemas de captação e descidas

<b>Material</b>	<b>Configuração</b>	<b>Área de seção mínima [mm²]</b>	<b>Comentários</b>
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75mm
	Arredondado maciço <sup>1*</sup>	35	Diâmetro 6mm
	Encordado	35	Diâmetro cada fio 2,5mm
	Arredondado maciço <sup>2</sup>	200	Diâmetro 16mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5mm
	Encordado	70	Diâmetro cada fio 3,5mm
	Arredondado maciço <sup>2</sup>	200	Diâmetro 16mm
Aço cobreado IACS 30% <sup>2*</sup>	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8mm
	Encordado	50	Diâmetro cada fio 3mm
Alumínio cobreado IACS 64%	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8mm
	Encordado	70	Diâmetro cada fio 3,6mm
Aço galvanizado a quente <sup>1</sup>	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8mm
	Encordado	50	Diâmetro cada fio 1,7mm
	Arredondado maciço	200	Diâmetro 16mm
Aço inoxidável <sup>3</sup>	Fita maciça	50	Espessura 2mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8mm
	Encordado	70	Diâmetro cada fio 1,7mm
	Arredondado maciço <sup>2</sup>	200	Diâmetro 16mm

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Tabela 36 – Continuação

<sup>1</sup> O recobrimento a quente deve ser realizado conforme a norma ABNT NBR 6323 [1];
<sup>1*</sup> Admite-se tolerância nos valores mínimos de 5%, exceto para os fios das cordoalhas, onde a tolerância é 2%;
<sup>2</sup> Aplicado apenas a mini captore. Quando esforços mecânicos, como a força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1m;
<sup>2*</sup> Cordoalha cobreada deve ter condutividade mínima de 30% IACS;
<sup>3</sup> Composição mínima AISI 304 ou composto por cromo 16% , níquel 8% e carbono 0,07%

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Tabela 37 - Condições de aplicação dos materiais do subsistema de aterramento

Material	Configuração	Dimensões mínimas		Comentários <sup>3</sup>
		Eletrodo cravado Diâmetro [mm]	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordado	-	Seção 50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3mm
	Arredondado maciço	-	Seção 50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça	-	Seção 50 mm <sup>2</sup>	Espessura 2mm
	Arredondado maciço	15	-	-
	Tubo	20	-	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente <sup>1</sup>	Arredondado maciço	16		-
	Tubo	25	Diâmetro 10 mm	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça	-	-	Espessura 3mm
	Encordado	-	Seção 90 mm <sup>2</sup>	-
Aço cobreado	Arredondado maciço Encordado	12,7	Seção 70 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45mm
Aço inoxidável	Arredondado maciço Fita maciça	15	Diâmetro 10 mm Seção 100 mm <sup>2</sup>	Espessura mínima 2mm

<sup>1</sup> O recobrimento a quente deve ser realizado conforme a norma ABNT NBR 6323 [1];

<sup>2</sup> Composição mínima AISI 304 ou composto por cromo 16%, níquel 8% e carbono 0,07%;

<sup>3</sup> Admite-se tolerância nos valores mínimos de 5%, exceto para os fios das cordoalhas, onde a tolerância é 2%.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Visando uma redução do custo total de uma obra, a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) possibilita que o projeto estrutural de uma edificação possa ser produzido de forma que as partes metálicas da estrutura sejam utilizadas como componentes naturais de um SPDA. Para isso, a armadura de aço dentro de estruturas de concreto armado deve ser contínua, quer dizer que pelo menos 50% das conexões entre barras horizontais e verticais sejam firmemente conectadas e as conexões entre as barras verticais necessitam ser soldadas, ou unidas com arame cozido, cintas ou grampos, trespassadas com sobreposição mínima de vinte vezes seu diâmetro.

### 2.2.3.1 *Subsistema de Captação*

O subsistema de captação, instalados de maneira apropriada, limitam consideravelmente a probabilidade de penetração na estrutura da corrente da descarga atmosférica. Este subsistema pode ser composto por hastes, condutores suspensos e condutores em malha.

Conforme a versão anterior da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005), não eram permitidos quaisquer recursos artificiais que pudessem aumentar o raio de proteção dos captadores, como captadores em formatos especiais, metais de elevado nível de condutibilidade ou ainda ionizantes.

Já na revisão ocorrida em 2015, mais precisamente na terceira parte, foi citado apenas que a norma não contempla a utilização de recursos artificiais com o intuito de expandir o raio de proteção dos captadores ou inibir a ocorrência de descargas atmosféricas.

Blauth (2016), explica que isso quer dizer que a norma abre um espaço para a possibilidade, mesmo que remota, da existência de outras modalidades de proteção contra raios, tendo como base outros princípios não estabelecidos pela norma, como por exemplo os captadores modernos de tecnologia ESE (*Early Streamer Emission*), onde o funcionamento é em função das características elétricas da formação da descarga atmosférica, já citado neste trabalho. A descarga atmosférica tem início com a formação de um traçador descendente que se propaga em qualquer direção. Num segundo momento, são gerados, a partir das estruturas e objetos pontiagudos do solo, traçadores ascendentes que tentam se encontrar com o traçador descendente. Então

ocorre o encontro do traçador descendente com um dos traçadores ascendentes, formando assim um canal ionizado para o raio acontecer.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) afirma que os componentes do subsistema de captação instalados na estrutura devem ser posicionados nos contos salientes, pontas expostas e beiradas, de acordo com métodos utilizados para a determinação da posição do subsistema de captação. Tais métodos podem ser, do ângulo de proteção, da esfera rolante e das malhas.

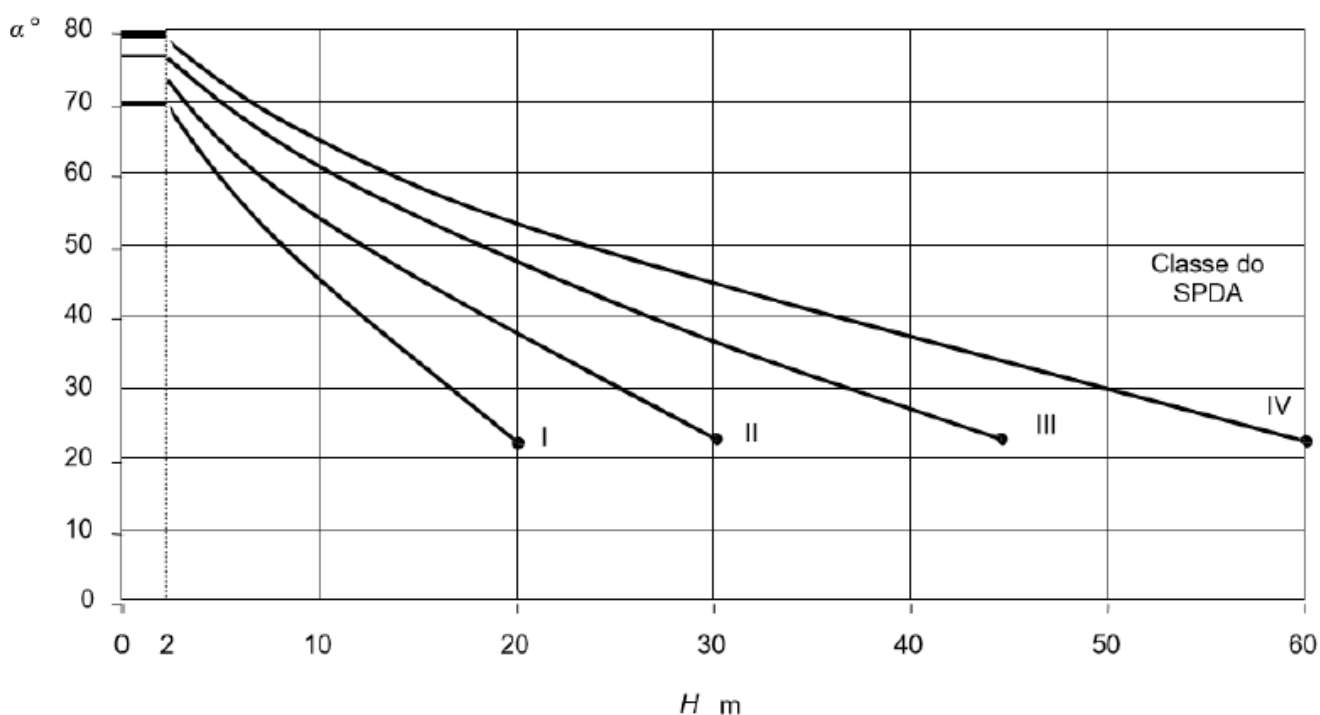
A tabela 38 e a figura 18 apresentam, respectivamente, os valores máximos para o raio da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção para cada classe de SPDA.

Tabela 38 – Valores dos raios da esfera rolante e tamanho da malha para cada classe de SPDA

Classe do SPDA	Raio da esfera rolante (m)	Máximo afastamento dos condutores da malha (m)
I	20	5 X 5
II	30	10 X 10
III	45	15 X 15
IV	60	20 X 20

Fonte: Adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Figura 18 – Valores do ângulo de proteção para cada classe de SPDA



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Com a revisão da norma ocorrida em 2015, foi estabelecido que a curva que depende da altura do captor a cima do plano de referência é o que define o ângulo de proteção para cada nível de proteção, em que a altura da estrutura a ser protegida, quando for superior a dois metros, é inversamente proporcional à variação do ângulo de proteção.

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), a probabilidade de descargas atmosféricas atingirem fachadas de estruturas com altura abaixo dos sessenta metros é baixa, podendo ser desconsideradas. No entanto, estruturas de altura superior a sessenta metros estão sujeitas a descargas laterais, principalmente em pontas, cantos e saliências, como varandas e marquises. As regras para o posicionamento do subsistema de captação lateral devem atender pelo menos aos mesmos requisitos para o nível de proteção IV, com ênfase na localização dos elementos da captação em cantos, quinas, bodas e saliências significativas.

Ainda de acordo com a norma, a presença de elementos metálicos externos, como revestimento de metal ou fachadas metálicas podem compensar a exigência de captação lateral, desde que atendam aos requisitos da tabela 39.

Tabela 39 – Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação

<b>Material</b>	<b>Espessura [mm] prevenção necessária perfuração, pontos quentes ou ignição</b>	<b>Espessura [mm] chapas metálicas prevenção não necessária contra perfuração, pontos quentes ou ignição</b>
Chumbo	-	2
Aço inoxidável e galvanizado a quente	4	0,5
Titânio	4	0,5
Cobre	5	0,5
Alumínio	7	0,65
Zinco	-	0,7

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

### 2.2.3.2 Subsistema de descidas

Conforme a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), para que a redução da probabilidade de danos devido à corrente de descarga circulando pelo SPDA, os condutores de descida devem ser arrançados em diversos caminhos paralelos e com menor comprimento possível, além da necessidade de equipotencialização do subsistema com os outros componentes condutores da estrutura protegida de acordo com os requisitos de equipotencialização específicos para esta norma.

A tabela 40, apresenta os valores dos espaçamentos dos condutores de descida e interligações horizontais conforme a classe de SPDA.

Tabela 40 – Valores dos espaçamentos dos condutores de descida e interligações horizontais conforme a classe de SPDA

<b>Nível de proteção</b>	<b>Distância (m)</b>
I	10
II	10
III	20
IV	25

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Para o caso de um SPDA isolado, a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) explica que o posicionamento das descidas deve obedecer aos seguintes tópicos:

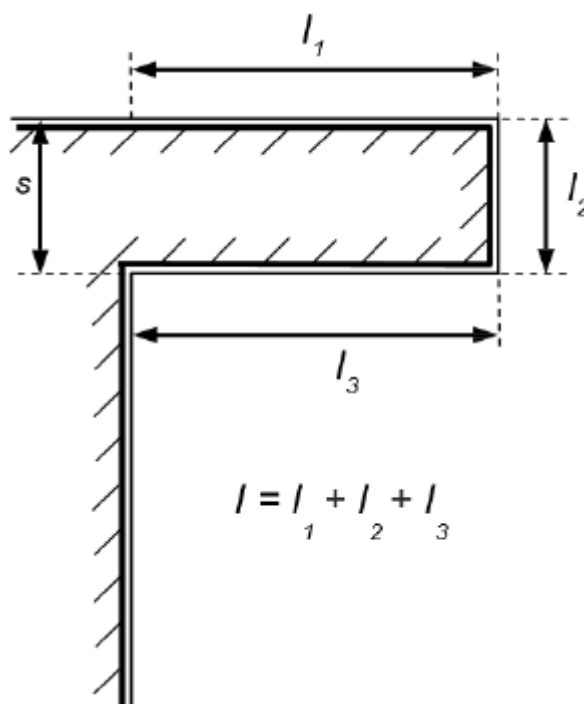
1. Se os captosres consistirem em hastes em mastros separados não metálicos nem interconectados às armaduras, é necessário para cada mastro um condutor de descida. Não havendo necessidade de condutor de descida para mastros metálicos ou interconectados às armaduras;
2. Caso os captosres forem de condutores suspensos em catenária, ou um fio, pelo menos um condutor de descida é necessário para cada suporte da estrutura;
3. Se os captosres formarem uma rede de condutores, é necessário pelo menos um condutor de descida em cada suporte de terminação dos condutores.

Para cada SPDA não isolado, o número de condutores de descida não deve ser menor do que dois, mesmo se o valor do cálculo do perímetro dividido pelo espaçamento para o nível correspondente resultar em um valor inferior. Em relação ao posicionamento, deve-se utilizar o espaçamento mais constante possível pelo perímetro da estrutura de acordo com a tabela 40 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Os condutores de descida devem ser instalados de uma forma em que tenham o menor caminho e direto para a terra, devendo ser posicionados de maneira vertical e paralela com o propósito de evitar laços. (MARTINS, 2017)

No entanto, em caso de impossibilidade da variação de direção dos condutores deve-se calcular uma distância de segurança  $s$ , como ilustrado na figura 19.

Figura 19 – Laço em um condutor de descida



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Em que  $s$  pode ser calculada a partir da equação (36):

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l \quad (36)$$

Onde:

$s$  é a distância de segurança entre os dois condutores em paralelo (m);

$k_i$  é um coeficiente dependente do nível de proteção do SPDA, tabela 41;



$k_m$  é um coeficiente dependente do material isolante, onde no caso de diversos materiais isolantes em série, utiliza-se o menor valor para este coeficiente, tabela 42;

$k_c$  é um coeficiente que depende da quantidade de descidas, tabela 43;

$l$  é o comprimento total do laço (m).

Tabela 41 – Coeficiente  $k_i$  em relação ao nível de proteção

Classe do SPDA	$k_i$
I	0,08
II	0,06
III-IV	0,04

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Tabela 42 – Coeficiente  $k_m$  em relação ao material isolante

Material isolante	$k_m$
Ar	1
Concreto ou tijolos	0,5

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Tabela 43 – Coeficiente  $k_c$  em relação ao número de descidas

Número de descidas	$k_c$
1 (somente para SPDA isolado)	1
2	0,66
3 ou mais	0,44

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Para o caso de um SPDA não isolado, os condutores de descida têm a possibilidade de serem instalados conforme o material de constituição da parede. Caso seja feita de material não combustível, os condutores de descida podem ser instalados dentro da parede ou em sua superfície. Caso a parede seja composta de material combustível os condutores podem ficar em sua superfície, no entanto seja gerado perigo com o aumento da temperatura devido ao fluxo de corrente. Caso a parede seja composta de material prontamente combustível os condutores de descida devem ser instalados a uma distância de 0,1 metros (MARTINS,2017).

### 2.2.3.3 Subsistema de aterramento

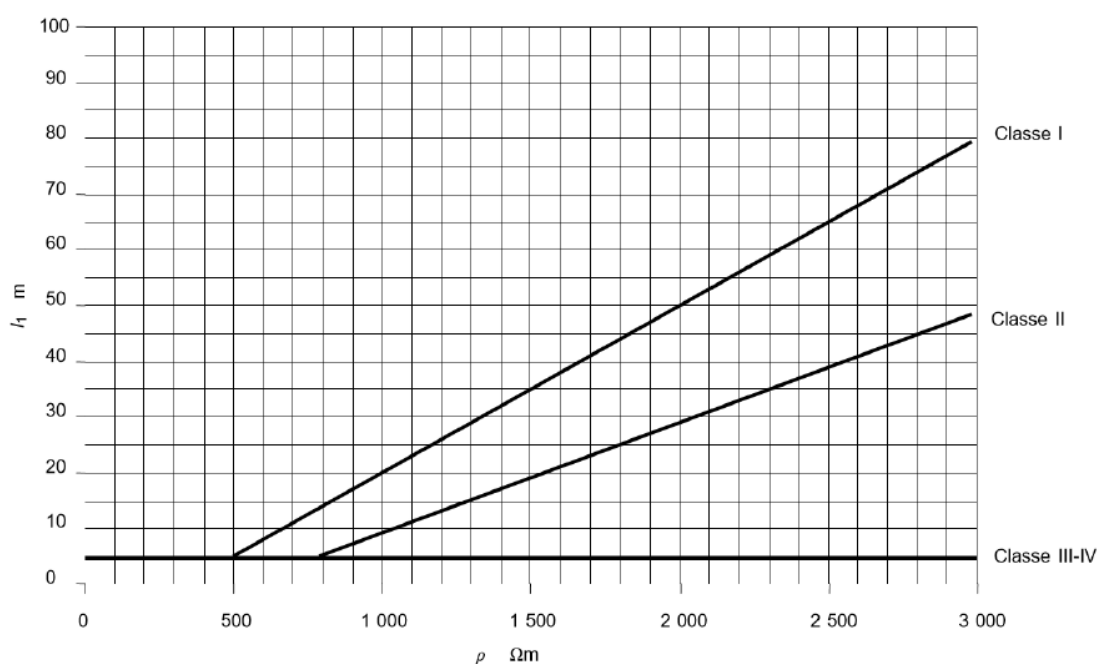
No subsistema de aterramento, é necessário obter-se a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo, afim de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) é preferível que se utilize as armaduras de aço da fundação para o subsistema de aterramento, no entanto, estas devem ser eletricamente contínuas e deve haver uma conexão condutora entre os pontos de interconexão.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) menciona que quando houver impossibilidade da utilização das armaduras das fundações para o subsistema de aterramento, deve-se utilizar um condutor na parte externa em formato de anel que esteja em contato com o solo com o mínimo de 80% do seu comprimento total, ou um elemento condutor de ligação entre as armaduras que estão descontínuas na da fundação, pode ser também eletrodos do tipo malha de aterramento.

Para eletrodos de ligação entre as armaduras descontínuas ou em anel, o comprimento do eletrodo específico para cada nível de proteção do SPDA,  $l_1$  figura 20, deve ser superior ao raio médio da área abrangida pelos eletrodos  $r_e$ , ou seja,  $r_e \geq l_1$ .

Figura 20 – Comprimento mínimo do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Para solos onde a resistividade pode ser maior que 3000  $\Omega.m$ , as curvas da figura 20 devem ser prolongadas através das equações:

$$l_1 = 0,03\rho - 10 \text{ (para classe I)} \quad (37)$$

$$l_1 = 0,02\rho - 11 \text{ (para classe II)} \quad (38)$$

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) diz que sempre que a condição  $r_e \geq l_1$  não for respeitada, deve-se utilizar eletrodos adicionais horizontais,  $l_r$ , ou verticais,  $l_v$ , onde seus comprimentos serão obtidos a partir das equações:

$$l_r = l_1 - r_e \quad (39)$$

$$l_r = \frac{l_1 - r_e}{2} \quad (40)$$

A profundidade do eletrodo de aterramento em anel deve ser de no mínimo 0,5 metros a uma distância de 1 metro ao redor das paredes externas da estrutura. Deve-se levar em consideração a constituição do eletrodo e a profundidade de aterramento com o objetivo de reduzir os efeitos da corrosão e os efeitos causados pelo ressecamento do solo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

#### 2.2.3.4 *Ligação equipotencial*

Para um SPDA isolado a ligação equipotencial deve ser realizada a nível do solo. A equipotencialização deve ser feita entre os elementos do SPDA e as instalações metálicas, sistemas internos, outras partes condutivas e linhas elétricas fora da estrutura. A ligação equipotencial pode ser direta, através de condutores de ligação, ou indireta, através de DPS (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Em caso de SPDA não isolado deve-se erguer e instalar uma barra de ligação equipotencial ao nível do solo ou próximo a ele.

As tabelas 44 e 45 apresentam, respectivamente, dimensões mínimas dos condutores que interligam os barramentos de equipotencialização entre si ao sistema

de aterramento e dimensões mínimas dos condutores que interligam os elementos metálicos internos aos barramentos de equipotencialização.

Tabela 44 – Dimensões mínimas dos condutores que interligam os barramentos de equipotencialização entre si ao sistema de aterramento

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área da seção reta mm <sup>2</sup>
I - IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	-
		Aço galvanizado a fogo	80

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Tabela 45 – Dimensões mínimas dos condutores que interligam os elementos metálicos internos aos barramentos de equipotencialização

Nível do SPDA	Material	Área da seção reta mm <sup>2</sup>
I - IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado a fogo	16

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

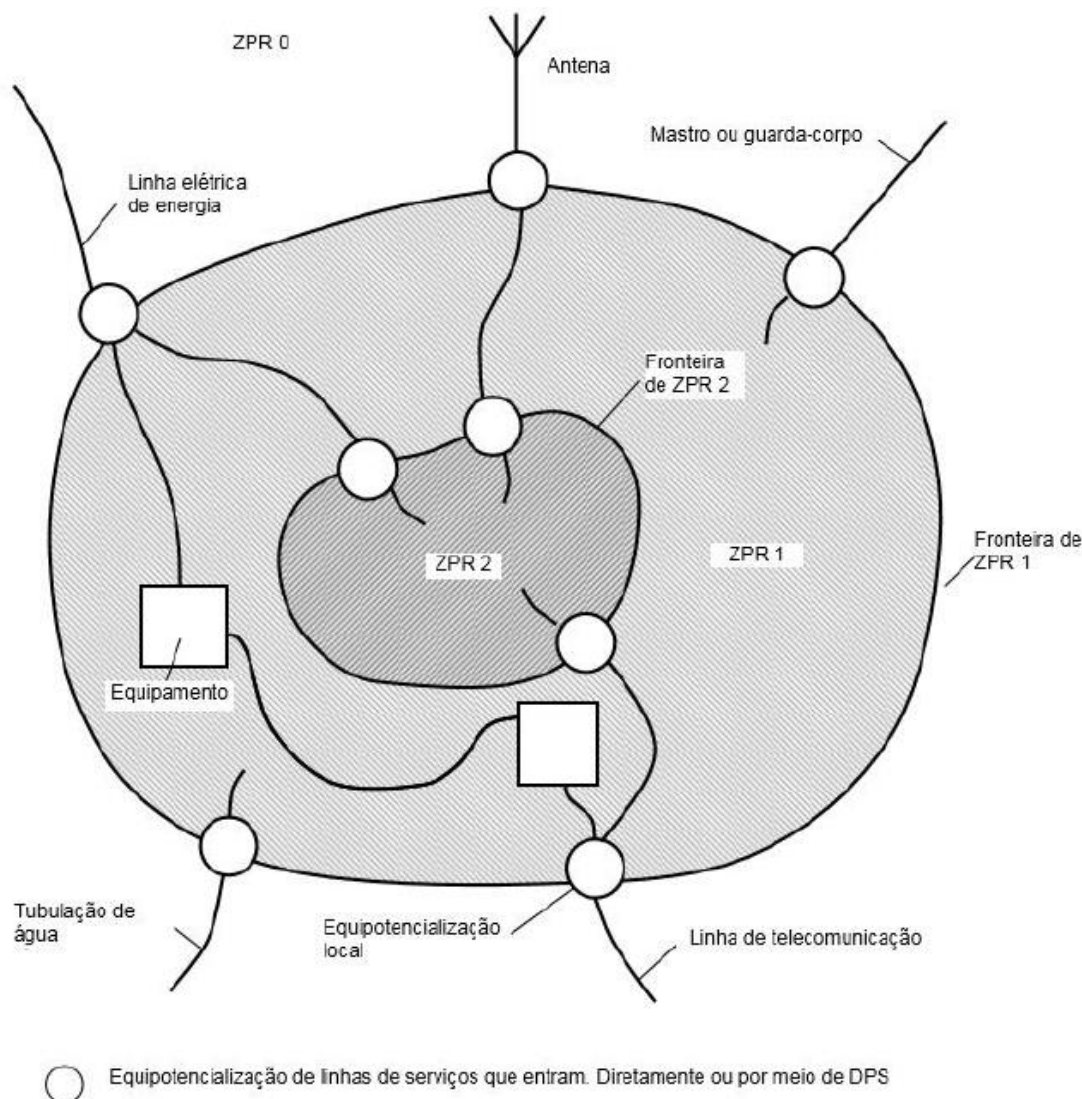
#### 2.2.4 Parte 4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

Por fim, esta parte da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) é a parte que fornece informações para o projeto, instalação, inspeção, manutenção e ensaio de sistemas de proteção elétricos e eletrônicos para reduzir o risco de danos permanentes internos à estrutura devido aos impulsos eletromagnéticos de descargas atmosféricas (LEMP), que é a principal fonte de dano nas instalações do interior de uma estrutura.

A norma baseia a proteção contra os efeitos do LEMP no conceito de zonas de proteção contra raios (ZPR). Estas zonas são associadas à parte de um sistema interno, ou espaço, em que a severidade do LEMP corresponde com a suportabilidade dos sistemas internos existentes. A figura 21 demonstra o exemplo encontrado na parte 4 da norma, de como é feita a divisão da estrutura dentro da ZPR interna, onde

todos os serviços que penetram a estrutura são equipotencializadas através de barras de equipotencialização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015)

Figura 21– Princípios gerais para a divisão de diferentes ZPR



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

Em que a zona de proteção onde a ameaça é devido a não atenuação do campo eletromagnético da descarga atmosférica e onde os sistemas internos podem estar sujeitos às correntes de surto totais ou parciais, é representado por  $ZPR_0$ . Enquanto  $ZPR_1$  representa a zona onde a corrente de surto é limitada por meios de barras de equipotencialização na fronteira  $ZPR_1$  e  $ZPR_2$  é a zona onde a corrente de surto é ainda mais limitada por barras de equipotencialização na fronteira  $ZPR_2$  (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

O sistema de aterramento é encarregado de conduzir e dispersar as correntes da descarga atmosférica para o solo. A redução do campo magnético e as diferenças de potencial são minimizadas pela rede equipotencialização no sistema de aterramento, onde essa rede pode ser disposta como uma malha tridimensional. Para isto são necessárias múltiplas interligações dos componentes metálicos da estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

A tabela 46 apresenta os mínimos valores de seção transversal que os materiais, dimensões e condições de utilização dos componentes de equipotencialização devem atender.

Tabela 46 – Mínimos valores de seção transversal dos componentes de equipotencialização

Componentes de Equipotencialização		Material	Seção transversal [mm²]
Barras de equipotencialização (Cobre, aço cobreado ou galvanizado)		Cobre	50
		Ferro	50
Condutores de conexão de barras de equipotencialização para subsistema de aterramento		Cobre	50
		Ferro	80
Condutores de conexão entre barras de equipotencialização conduzindo uma parcela significativa ou o total da corrente do raio		Cobre	16
		Alumínio	25
		Ferro	50
Condutores para conexão entre partes metálicas internas da instalação e as barras de equipotencialização conduzindo uma parcela da corrente de raio		Cobre	6
		Alumínio	10
		Ferro	16
Condutores de aterramento para o DPS conduzindo uma parcela ou o total da corrente do raio	Classe I	Cobre	16
	Classe II		6
	Classe III		1
	Outros		1

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) a redução eficaz de falhas permanentes de sistemas internos pode ser realizada através de blindagens magnéticas e roteamento adequado das linhas internas. A blindagem magnética pode diminuir o campo eletromagnético bem como a intensidade dos surtos induzidos internamente. Já o roteamento apropriado das linhas internas reduz os laços de indução e a criação de surtos de tensão dentro da estrutura.

A construção da blindagem magnética deve atender os requisitos de espessura mínima das chapas de partes metálicas, dutos metálicos, eletrodutos e blindagem de

cabo, da tabela 39. Enquanto as condições dos materiais de blindagem em forma de grade e a seção transversal mínima dos seus condutores dever atender a tabela 36 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

#### *2.2.4.1 Dispositivos de Proteção contra Surtos*

As linhas de sinais e energia são protegidas pelo sistema de coordenação de DPS, que realiza a proteção contra surtos de sistemas internos. Os DPS devem ser instalados em cada ponto onde uma linha de sinal ou de energia penetra a ZPR, utilizando o conceito anteriormente apresentado de ZPR. A necessidade da adição de DPS depende da distância entre o equipamento a ser protegido e da localização do DPS, devendo ser consideravelmente longa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007), os dispositivos de proteção contra surto - DPS, deve identificar sobretensões no sistema encaminhando a corrente de surto para o sistema de aterramento. Os DPS são classificados em três classes:

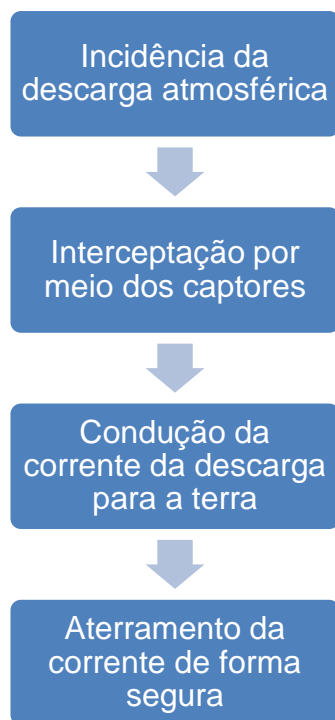
- Classe I - Destinada a proteção contra surtos elétricos conduzidos provenientes de descargas atmosféricas diretas, recomendada quando há instalação de SPDA
- Classe II - Destinada a proteção contra surtos elétricos provenientes de descargas atmosféricas indiretas, ou seja, atinge os arredores da edificação ou as linhas de sinal ou energia
- Classe III - Deve ser utilizado próximo ao equipamento protegido, geralmente utilizado em locais de baixa exposição ou como complemento de proteção

### **2.3 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas – SPDA**

Como já citado neste trabalho, os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, ou simplesmente para-raios, possuem um objetivo básico de interceptação das descargas atmosféricas, por meio dos captores, conduzir a corrente da descarga de forma segura até que sejam dispersas na terra, por meio das descidas e aterramento.

A figura 22 apresenta um diagrama básico, com base nas informações da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), de como é formado todo o sistema de proteção contra descarga atmosférica.

Figura 22 – Sistema de proteção contra descarga atmosférica



Fonte: Elaborada pelo autor

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), existem três tipos diferentes de métodos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, método do ângulo de proteção, da esfera rolante e das malhas.

### **2.3.1 Método de Franklin**

O método do ângulo de proteção, ou método de Franklin, como também é conhecido, é recomendado para estruturas simples de altura não muito elevadas e de pouca área horizontal, onde é possível a utilização de uma pequena quantidade de captores, tornando o projeto mais interessante economicamente (MAMEDE FILHO, 2001).

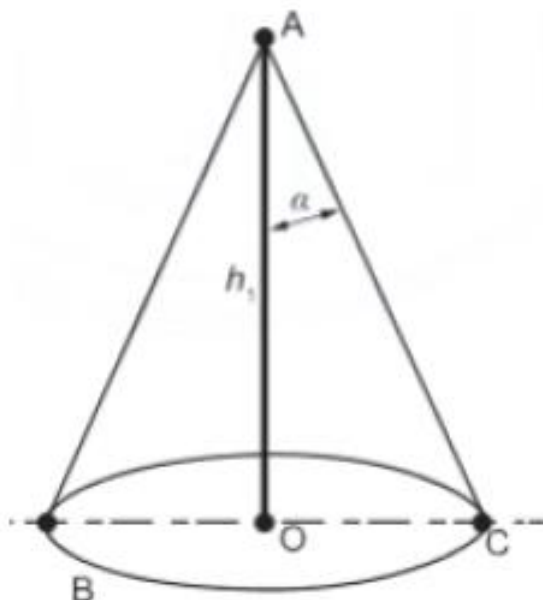
Mamede Filho (2001), apresenta uma sequência de cálculos a serem utilizados para a elaboração de um projeto de instalação de um SPDA pelo método de Franklin.

#### **a) Zona de proteção**



Este método oferece uma proteção dada por um cone, em que a vértice corresponde à extremidade superior do captor e a geratriz faz um ângulo com a vertical, ocasionando um raio na base do cone, conforme ilustrado na figura 23.

Figura 23 – Ângulo de proteção do método de Franklin



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

O raio de proteção na base do cone pode ter seu valor calculado a partir da equação (41):

$$R_p = H_c \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (41)$$

Em que:

$R_p$  é o raio da base do cone de proteção (m);

$H_c$  é a altura da extremidade do captor (m);

$\alpha$  é o ângulo de proteção encontrado na figura 18.

#### b) Número de condutores de descida

Que deve ser em função do NP desejado e do afastamento entre os condutores de decida, pode ser calculado através da equação (42):

$$N_{cd} = \frac{P_{co}}{D_{cd}} \quad (42)$$

Onde:

$N_{cd}$  é o número de condutores de descida;

$P_{co}$  é o perímetro da construção (m);

$D_{cd}$  é a distância entre os condutores de descida, tabela 40.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), recomenda que além dos condutores calculados pela distância de segurança, um condutor de descida deve ser instalado em cada ponto saliente da estrutura. E que é aceitável que os valores da tabela 40 tenham até 20% acima dos valores apresentados.

c) Seção do condutor

A seção mínima dos condutores deve seguir as especificações apresentadas na tabela 36.

d) Resistência da malha de aterramento

A resistência da malha de aterramento deve, em qualquer época do ano, ser inferior a  $10\Omega$  e deve seguir as especificações da tabela 37.

### **2.3.2 Método de Faraday**

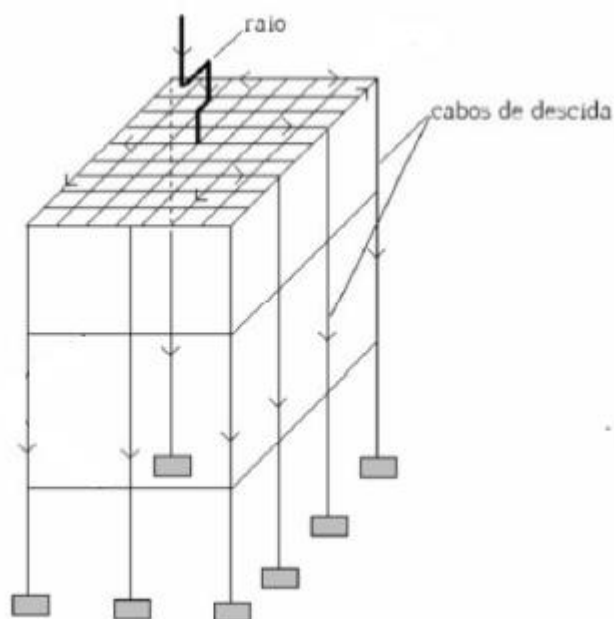
Já o método das malhas, também conhecido como método de Faraday, leva esse nome por basear-se na teoria do Físico inglês, segundo ele, o campo eletromagnético no interior de uma gaiola de superfície eletrizada é nulo, uma vez que as cargas se distribuem uniformemente na superfície da gaiola (COUTINHO; ALTOÉ, 2003).

O método de proteção contra descargas atmosféricas consiste em envolver a parte superior da estrutura com uma malha captora de condutores, conforme pode ser observado na figura 24, em que a distância entre elas depende do nível de proteção que deseja ter, conforme apresentado na tabela 38 (MAMEDE FILHO, 2001).

Assim do método de Franklin, esse método é recomendado para estruturas relativamente baixas, no entanto com uma grande área horizontal, na qual, pelo método de Franklin, necessitariam de uma grande quantidade de hastes (MAMEDE FILHO, 2001).

A abertura da malha depende do nível de proteção desejado, conforme demonstrado na tabela 38, enquanto o número de descidas pode ser calculado a partir da equação (42).

Figura 24 – Edificação com SPDA método de Faraday



Fonte: Adaptada de KINDERMANN (1995)

De acordo com a aula de Instalações elétricas do professor Luciano Duque, a NBR 5419-2015, não exige a instalação de mini captadores, tendo em vista que a eficiência do método não depende deles, contudo, sua instalação é recomendada para que haja a preservação dos cabos contra danos térmicos provocados pela incidência direta de uma descarga atmosférica sobre eles, ficando a critério do projetista o uso ou não. Caso opte-se pelo uso, é recomendado sua utilização nas quinas, cruzamentos de cabo e a cada cinco metros de perímetro.

### **2.3.3 Método da Esfera rolante**

Segundo Mamede Filho (2001), o método da esfera rolante ou eletrogeométrico, tem sua base fundamentada na delimitação do volume de proteção dos captadores de um SPDA, onde pode-se utilizar hastes, cabos ou a associação dos dois. Sua utilização é recomendada para estruturas altas e/ou de complexa forma arquitetônica, por isso é bastante esse método é geralmente utilizado em subestações de potência de instalação exterior.

O raio da esfera depende da classe do SPDA desejado, conseqüentemente do nível de proteção, sua determinação deve seguir os requisitos apresentados na tabela 38.

A partir da equação (43) pode-se obter a altura adequada dos captosres para esse método.

$$H_c = R_e \cdot \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left[ \frac{\frac{L_e}{2}}{R_e} + \sqrt{\frac{H_{ext}}{R_e} \cdot \left( 2 - \frac{H_{ext}}{R_e} \right)} \right]^2} \right\} \quad (43)$$

Onde:

$H_c$  é a altura do captor;

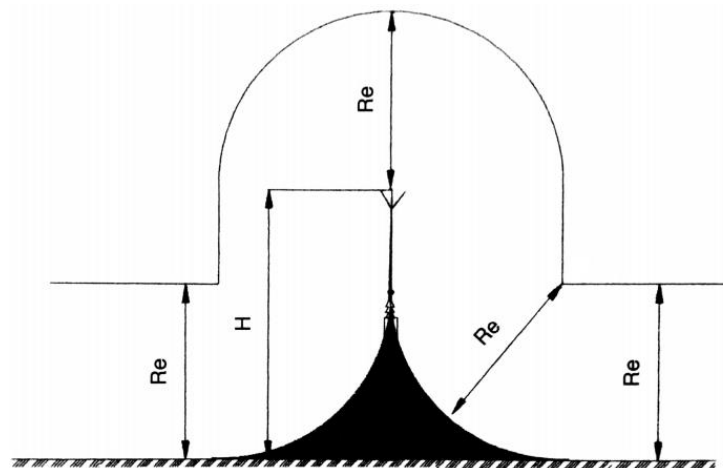
$R_e$  é o raio da esfera rolante, tabela 38;

$L_e$  é a largura da estrutura (m);

$H_{ext}$  é a altura da extremidade da edificação.

A figura 25 demonstra a representação do método da esfera rolante.

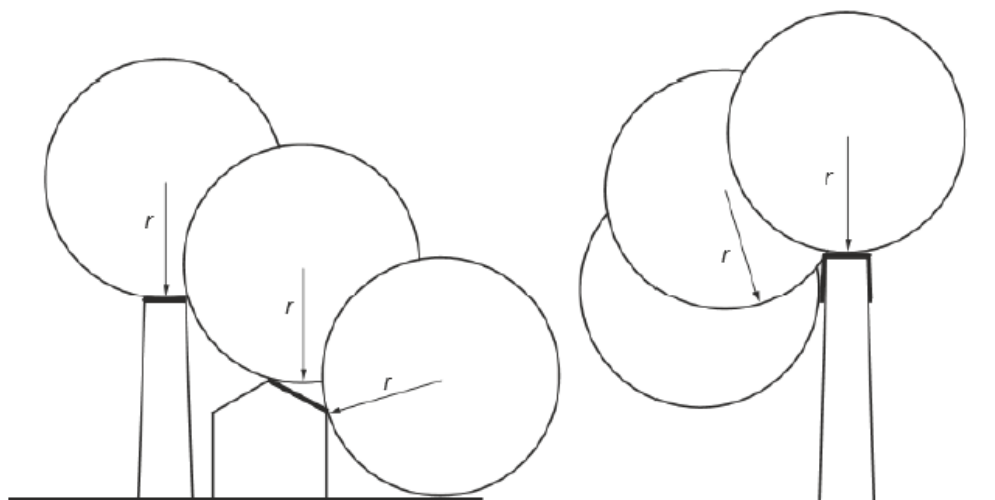
Figura 25 – Representação do método da esfera rolante



Fonte: Adaptada de MAMEDE FILHO (2001)

O método serve-se de uma esfera imaginária em que rola pela estrutura em todas as possíveis direções, conforme ilustrado pela figura 26, caso nenhum ponto da estrutura, com exceção do subsistema de captação, tocar na esfera fictícia, a área está protegida (MARTINS 2017).

Figura 26 – Ilustração da esfera rolante



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015)

### 3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado visando a implementação de um SPDA para o bloco 3 do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB do campus da Asa Norte, foi escolhido essa estrutura por ser uma estrutura que tem bastante fluxo de pessoas, o que a tornou interessante para o desenvolvimento do estudo de caso proposto.

#### 3.1 Considerações iniciais

Para o estudo de caso algumas considerações foram feitas:

- A estrutura não possui nenhum SPDA instalado;
- A estrutura não possui nenhum tipo de DPS;
- As linhas de sinal e energia sejam enterradas, não blindadas ou ligadas ao barramento de equipotencialização;
- A tensão suportável do sistema interno igual a 1kV, uma vez que não se conhece a real tensão suportável do sistema, considerou-se a menor tensão possível, seguindo recomendação da norma NBR 5419-2.2015;
- O tempo, em horas, que há presença de pessoas na estrutura foi calculado a partir dos horários das aulas, de 7:40h até as 22:40h, totalizando 15h horas por dia durante cinco vezes por semana durante nove meses, período de aulas na instituição, dando um total de 2.700h por ano;
- O número de pessoas presente na estrutura diariamente foi estimado em função da quantidade de salas de aula listadas na entrada da estrutura, 80 salas dividas em três andares mais o térreo. Foi estimado uma quantidade de segurança de 50 pessoas por sala, totalizando 4.000 pessoas na estrutura;
- Para este estudo foi considerado apenas o tipo de perda da vida humana, L1. Enquanto aos tipos de riscos, foi levado em consideração o R1, de perda da vida humana, e de acordo com a tabela 8, as componente  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$  e  $R_V$ ;
- Para realização dos cálculos do gerenciamento de risco utilizou-se o valor de  $\pi$  igual a 3,14.

As dimensões da estrutura foram obtidas através e de um aplicativo de celular que utiliza imagens via satélite:

**Comprimento (L)** = 48 metros;

**Largura (W)** = 56 metros;

**Altura (H)** = 16 metros.

A primeira parte do estudo de caso foi a obtenção das imagens da estrutura através do software Google Earth Pro, e está apresentada abaixo, na figura 27.

Figura 27 – Imagem 3D do bloco 3 do UniCeub



Fonte: Google Earth Pro

### 3.2 Gerenciamento de risco

O gerenciamento de risco foi calculado pelo autor de forma manual, utilizando uma calculadora científica e o software de planilhas Excel. Para a realização, um dos primeiros parâmetros que deve ser encontrado é a quantidade de descargas atmosféricas para a terra na localização da estrutura,  $N_D$ . Para isso, há a necessidade do conhecimento da densidade de descargas atmosféricas para a terra,  $N_G$ , que pode ser encontrado através do mapa da figura 11, ou com mais precisão através do site do ELAT/INPE, conforme pode ser observado na figura 28, logo abaixo.

Figura 28 – Densidade de descargas atmosféricas para a terra em Brasília



Fonte: SITE INPE

A partir de então foi possível realizar o gerenciamento de risco, com base nas tabelas e equações já apresentadas neste trabalho, também foram criadas pelo autor as tabelas 47 que apresenta de uma forma mais organizada os valores dos parâmetros necessários para o cálculo dos componentes de risco, e a tabela 48, no qual são apresentados os valores dos componentes de risco e risco total R1.

Tabela 47 – Valores dos parâmetros necessários para o cálculo dos componentes de risco

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descarga atmosférica	Brasília	$N_G$	6,9	Figura 28
Descargas na estrutura por ano	—	$N_D$	$68,68 \times 10^{-3}$	Equação (6)
Sobretensões na linha	Amplitude a 1 kV por ano	$N_L$	0,0138	Equação (7)
Área de exposição	H = 16 m W = 56 m L = 48 m	$A_D$	19.906,56	Equação (8)
Área de exposição da linha	Comprimento da linha desconhecido	$A_L$	40.000	Especificado na NBR 5419-2.2015

Fonte: Elaborada pelo autor.



Tabela 47 - Continuação

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Localização da estrutura	Cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos	$C_D$	0,5	Tabela 12
Fator de instalação da linha	Enterrado	$C_I$	0,5	Tabela 11
Fator ambiental da linha	Urbano	$C_E$	0,1	
Fator do tipo da linha	Linha de sinal ou de energia	$C_T$	1	
Fator em função da blindagem, aterramento e isolamento da linha	Linha enterrada não blindada	$C_{LD}$	1	Tabela 16
Proteção contra choque (descarga na estrutura)	Isolação elétrica	$P_{TA}$	0,01	Tabela 13
Danos físicos na estrutura em função do SPDA	Não protegida por SPDA	$P_E$	1	Tabela 14
Ferimentos a seres vivos por choque	—	$P_A$	0,01	Equação (12)
Proteção contra choque (descarga na linha)	Isolação elétrica	$P_{TU}$	0,01	Tabela 18
Proteção contra choque (descarga na linha em função do DPS)	Sem DPS	$P_{EB}$	1	
Falha dos sistemas internos em função da linha (descarga na linha)	Linha enterrada não blindada	$P_{LD}$	1	Tabela 19
Ferimentos por choque por uma descarga na linha	—	$P_U$	0,01	Equação (19)
Danos físicos na estrutura por uma descarga na linha	—	$P_V$	1	Equação (20)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 47 - Continuação

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Vítimas feridas por choque	Todos os tipos	$L_T$	0,01	Tabela 22
Vítimas por dano físico	Escola	$L_F$	0,1	
Fator de redução da perda em função piso	Cerâmica	$r_t$	0,001	Tabela 23
Fator de redução da perda em função das providências explosão	Extintores	$r_p$	0,5	Tabela 24
Fator de redução da perda em função do risco de incêndio ou explosão	Normal	$r_f$	0,01	Tabela 25
Fator de aumento da perda da vida humana	Nenhum	$h_z$	1	Tabela 26
Número de pessoas na zona	$\frac{n_z}{n_t}$	$n_z$	1	Por questão de proteção, considerou-se o maior valor possível para a razão.
Número total de pessoas		$n_t$		
Tempo em horas por ano de pessoas na zona	—	$t_z$	2.700	Consideração inicial do estudo de caso
Perdas devido a tensão de toque e passo (descarga na estrutura)	—	$L_A$	$3,08 \times 10^{-6}$	Equação (23)
Perdas devido a tensão de toque e passo (descarga na linha)	—	$L_U$	$3,08 \times 10^{-6}$	
Perdas devido a centelhamento (descarga na estrutura)	—	$L_B$	$1,54 \times 10^{-3}$	Equação (24)
Perdas devido a centelhamento (descarga na linha)	—	$L_V$	$1,54 \times 10^{-3}$	

Fonte: Elaborada pelo autor

Após a análise dos valores apresentados na tabela acima foi possível realizar o cálculo dos componentes de risco e o risco cálculo dos componentes de risco e o risco R1 total, organizados na tabela 48, abaixo:

Tabela 48 – Valores dos componentes de risco e risco total R1

Componentes	Equação	Valor
$R_A$	$R_A = N_A \cdot P_A \cdot L_A$	$2,12 \times 10^{-9}$
$R_B$	$R_B = N_B \cdot P_B \cdot L_B$	$1,06 \times 10^{-4}$
$R_U$	$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U$	$4,25 \times 10^{-10}$
$R_V$	$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V$	$2,13 \times 10^{-5}$
R1	$\sum R_A + R_B + R_U + R_V$	$1,27 \times 10^{-4}$

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir da tabela 48, é possível observar que  $1,27 \times 10^{-4} > 10^{-5}$ , isso quer dizer que o risco total R1, é maior que o risco tolerável RT, para a perda da vida humana L1, considerada para o estudo de caso em questão, que conforme apontado na tabela 10 é igual a  $10^{-5}$ , isso mostra que há necessidade da instalação de um SPDA para a estrutura analisada.

### 3.3 Projeto do SPDA

Pelo fato da estrutura utilizada no estudo de caso ser consideravelmente baixa, cerca de 16 metros de altura, poderiam ser utilizados os métodos de Franklin ou de Faraday, no entanto, para que o método de Franklin fosse capaz de proteger totalmente a estrutura seria necessário mais de um mastro captor, por esse motivo optou-se por desenvolver um SPDA método de Faraday, externo e não isolado, e também devido ao fato da estrutura possuir uma cobertura plana e horizontal, o que favorece a utilização do método das malhas. Como a estrutura se trata de um bloco de salas de aula os cálculos do SPDA foram realizados para o nível II de proteção, onde o comprimento e largura máximos das malhas devem ser de 10 metros, conforme pode ser verificado na tabela 38. Com isso, o número de condutores da malha captora foi calculado a partir das equações abaixo:

$$N_{c1} = \frac{56}{10} + 1 \cong 7 \quad (44)$$

$$N_{c2} = \frac{48}{10} + 1 \cong 6 \quad (45)$$

Onde:

$N_{c1}$  é o número de condutores da malha captora na direção da menor dimensão da estrutura;

$N_{c2}$  é o número de condutores da malha captora na direção de maior dimensão da estrutura.

10 é o espaçamento máximo das malhas do nível de proteção desejado;

A quantidade de condutores de descidas,  $N_d$ , foi calculada a partir da equação que utiliza o perímetro da estrutura e do espaçamento dos condutores de descida em função do nível de proteção desejado para o SPDA, conforme apresentado na tabela 20.

$$N_d = \frac{48 \times 2 + 56 \times 2}{10} = 20,8 \quad (46)$$

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), os espaçamentos dos condutores de descidas podem ter no máximo até 20% além dos valores definidos na tabela 40, baseando-se neste ponto da norma, foi considerado o número de condutores de descidas igual a 20, compostas por cabos de cobre nu de 35 mm<sup>2</sup>, conforme especificado na tabela 36, fixados por soda exotérmica.

O subsistema de aterramento deve ser instalado a 1 metro de distância das paredes externas da estrutura e composto por hastes de aterramento de 5/8" e enterradas a uma profundidade de 0,5 metros ligados por um cabo de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup> conectados a haste por soda exotérmica, conforme é exigido pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015).

A equipotencialização deve ser realizada através da conexão das linhas de energia e sinal e dos elementos metálicos da estrutura ao barramento de equipotencialização, onde a conexão deve ser feita por um condutor de ferro ou cobre com seção de 50 mm<sup>2</sup>, conforme a tabela 46. O barramento de equipotencialização deve ser conectado ao subsistema de aterramento por condutores de ferro com seção de 80 mm<sup>2</sup> ou de cobre com seção de 50 mm<sup>2</sup>, conforme instrução da norma apresentada na tabela 46.

A conclusão do sistema de proteção contra descargas atmosféricas deve ser realizada com a instalação de dispositivos de proteção contra surtos, DPS classe I, conforme especificado no subitem 2.2.4.1.

O projeto do sistema de proteção contra descargas atmosféricas desenvolvido em AutoCad, está apresentado anexo A, com os detalhes do projeto, como fixação da soda exotérmica, no anexo B.

## 4 SIMULAÇÃO

A simulação foi realizada através de uma planilha no Excel específica para cálculos de gerenciamento de risco, é uma planilha que realiza, de forma automatizada com base na ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), uma avaliação de risco da necessidade ou não de utilização de um sistema de proteção de descargas atmosféricas apenas inserindo dados referentes às características da estrutura, como dimensões, características de meio ambiente, de linhas de sinal e energia e da zona de exposição, conforme pode ser observado na imagem da figura abaixo.

Figura 29 – Características da estrutura e meio ambiente - PS

Tabela E.1: características da estrutura e meio ambiente				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $1/\text{km}^2/\text{ano}$ )	<a href="#">Clique aqui para abrir o site de busca</a>	$N_G$	6,9	
Dimensões da estrutura (m)	Estudo com formato prismático simples - quadrado ou retângulo			
		$L$	48,00	19910,23
		$W$	56,00	
		$H$	16,00	
	Caso a obra possua formas complexas, informe aqui o valor da área de exposição conforme A.2.1		6.410,00	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	$C_D$	0,50000	<a href="#">Tab. A.1</a>
SPDA instalado	Estrutura não protegida por SPDA	$P_B$	1,00000	<a href="#">Tab. B.2</a>

Fonte: Adaptada de RODRIGO ANTONIO

Na primeira imagem já é possível constatar uma diferença de valores da área de exposição calculado no gerenciamento de risco deste trabalho com o valor calculado de forma automática pela planilha de simulação. Tal diferença de valores pode ser explicada pela diferença do valor considerado para  $\pi$ , que conforme observa-se na equação (8) está ligado diretamente no resultado final. Para o cálculo da planilha o valor de  $\pi$  é considerado o valor real, sem arredondamento ou truncamento, ou seja,  $\pi = 3,14159265358979$ . Já para o cálculo da área de exposição realizado neste trabalho utilizou-se o valor de  $\pi$  truncado com apenas duas casas decimais depois da vírgula, ou seja,  $\pi = 3,14$ .

Figura 30 – Características da linha de energia da estrutura - PS

Tabela E.2: linha 01 (Ex.: Linha de Energia)				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.
Possui esta linha?	SIM - Tem esta linha de Potência ou sinal conectada à estrutura			
Comprimento (m) <sup>a</sup>	Informe o comprimento da linha (m) - (quando não souber = 1.000)	L <sub>U/p</sub>	1.000,00	
Fator de Instalação	Enterrado	C <sub>I/p</sub>	0,50000	Tab. A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal	C <sub>T/p</sub>	1,00000	Tab. A.3
Fator ambiental	Urbano	C <sub>E</sub>	0,10000	Tab. A.4
Blindagem da linha	Não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento	R <sub>S/p</sub>	-	Tab. B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada não blindada ≠ Indefinida	C <sub>LD/p</sub>	1,00000	Tab. B.4
		C <sub>LU/p</sub>	1,00000	
NOTA 5: * Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de sinal utiliza cabos blindados enterrados. (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência da blindagem de 5 Ω/km, diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm). *Em áreas rurais, uma linha de energia em BT utiliza cabos aéreos não blindados enquanto que as linhas de sinal utilizam cabos não blindados aéreos (diâmetro do fio de cobre: 1 mm). *Uma linha de energia de AT enterrada utiliza tipicamente um cabo blindado com uma resistência da blindagem da ordem de 1 Ω/km a 5 Ω/km.				
Estrutura adjacente	Nenhuma estrutura Adjacente	L <sub>J/p</sub>	0,00000	Tamanho da estrutura
		W <sub>J/p</sub>	0,00000	
		H <sub>J/p</sub>	0,00000	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C <sub>DJ/p</sub>	0,00000	Tab. A.1
Tensão suportável do sist. interno (kV)	Tensão suportável UW - 1 kV	U <sub>W/p</sub>	1,00000	Tab. B.8
	Parâmetros resultantes	K <sub>S4/p</sub>	1,00000	Eq. (B.7)
	Este valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão suportavel	P <sub>LD/p</sub>	1,00000	Tab. B.8
Tipo da linha	Linhas de energia	P <sub>LU/p</sub>	1,00000	Tab. B.9
<sup>a</sup> Como o comprimento L <sub>L</sub> da seção da linha é desconhecido, L <sub>L</sub> = 1.000 m é assumido (ver A.4 e A.5).				

Fonte: Adaptada de RODRIGO ANTONIO

Figura 31 – Características da linha de sinal da estrutura - PS

Tabela E.3: linha 02 (Ex.: Linha de Sinal)				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.
Possui esta linha?	SIM - Tem esta linha de Potência ou sinal conectada à estrutura			
Comprimento (m) <sup>a</sup>	Informe o comprimento da linha (m) - (quando não souber = 1.000)	L <sub>L/t</sub>	1,000,00	
Fator de Instalação	Enterrado	C <sub>I/t</sub>	0,50000	<a href="#">Tab. A.2</a>
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal	C <sub>T/t</sub>	1,00000	<a href="#">Tab. A.3</a>
Fator ambiental	Urbano	C <sub>E</sub>	0,10000	<a href="#">Tab. A.4</a>
Blindagem da linha	Não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento	R <sub>S/t</sub>	-	<a href="#">Tab. B.8</a>
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha aérea não blindada Indefinida # Indefinida	C <sub>LD/t</sub>	1,00000	<a href="#">Tab. B.4</a>
		C <sub>LU/t</sub>	1,00000	
NOTA 5:				
* Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de sinal utiliza cabos blindados enterrados (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência da blindagem de 5 Ω/km, diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm).				
*Em áreas rurais, uma linha de energia em BT utiliza cabos aéreos não blindados enquanto que as linhas de sinal utilizam cabos não blindados aéreos (diâmetro do fio de cobre: 1 mm).				
*Uma linha de energia de AT enterrada utiliza tipicamente um cabo blindado com uma resistência da blindagem da ordem de 1 Ω/km a 5 Ω/km.				
Estrutura adjacente	Nenhuma estrutura Adjacente	L <sub>J/t</sub>	0,00000	Informe os tamanhos da estrutura
		W <sub>J/t</sub>	0,00000	
		H <sub>J/t</sub>	0,00000	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C <sub>DJ/t</sub>	0,00000	<a href="#">Tab. A.1</a>
Tensão suportável do sist. interno (kV)	Tensão suportável UW - 1 kV	U <sub>W/t</sub>	1,00000	<a href="#">Tab. B.8</a>
	Parâmetros resultantes	K <sub>S4/t</sub>	1,00000	Eq. (B.7)
	Este valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão suportavel	P <sub>LD/t</sub>	1,00000	<a href="#">Tab. B.8</a>
Tipo da linha	Linhas de sinais	P <sub>LU/t</sub>	1,00000	<a href="#">Tab. B.9</a>
<sup>a</sup> Como o comprimento L <sub>L</sub> da seção da linha é desconhecido, L <sub>L</sub> = 1 000 m é assumido (ver A.4 e A.5).				

Fonte: Adaptada de RODRIGO ANTONIO

Os valores dos fatores de característica das linhas de energia e sinal utilizados nos cálculos dos resultados apresentados na tabela 47, utilizados para a realização manual dos cálculos de gerenciamento de risco foram os mesmos empregados na planilha de simulação, uma vez que as características das linhas não sofreram alterações.

Figura 32 – Características da zona de exposição - PS

Características da Zona de Exposição - Zona 01				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	$r_t$	1,00E-03	Tab. C.3
Proteção contra choque (desc. na estrut.)	Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores	$P_{TA}$	0,01	Tab. B.1
Proteção contra choque (desc. na linha)	Isolação elétrica	$P_{TU}$	0,01	Tab. B.6
Risco de incêndio ou Explosão	Risco NORMAL de Incêndio	$r_f$	1,00E-02	Tab. C.5
Proteção contra incêndio	extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo	$r_p$	0,50	Tab. C.4
Blindagem espacial Interna Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR 5419-2	SEM blindagem espacial			
	$W_{m1}$ (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA	$W_{m1}$	0,00000	Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR5419-2
	$W_{m2}$ (m) são as larguras da blindagem em forma de grade ou dos condutores de descidas do SPDA	$W_{m2}$	0,00000	
	$K_{S1} = 0,12 \times W_{m1}$	$K_{S1}$	1,00000	Eq. (B.5)
	$K_{S2} = 0,12 \times W_{m2}$	$K_{S2}$	1,00000	Eq. (B.6)
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	$K_{S3/p}$	1,0000
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	$K_{S3/t}$	1,0000
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	$PEB$	1,000
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$	1,000

Fonte: Adaptada de RODRIGO ANTONIO

Assim como os valores dos fatores referentes às linhas de sinal e energia foram iguais na tabela 47 e na planilha de simulação, os valores dos fatores de características da zona de exposição também se mantiveram os mesmos.

Figura 33 – Perda inaceitável da vida humana - PS

Tipos de Perdas inaceitável de vida Humana - L1				
L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de partic	$h_z$	10,00
		D1 ferimentos # Todos os tipos	$L_T$	1,00E-02
	Danos Físicos	Hospital, hotel, escola, edifício cívico, residências	$L_{F1}$	1,00E-01
	Falhas de sistemas int.	Não Aplicável	$L_{O1}$	0,00E+00
	Fator para pessoas na Zona	Número de pessoas na zona de perigo	$n_z$	4,000
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	$n_t$	4,000
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	$T_{hor}$	15
		Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada	$T_{dia}$	365
		Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	$t_z$	5475
Parâmetros resultantes L1	$LU = LA = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8\ 760$		$LU = LA$	6,25E-06
	$LB = LV = r_p \times r_t \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8\ 760$		$LB = LV$	3,13E-03
	$LC1 = LM = LW = LZ = L_{O1} \times n_z / n_t \times t_z / 8\ 760$ - calcular quando mais de uma Zona		$LC = LM = LW = LZ$	0,00E+00
	$RA = ND \times PA \times LA$		$RA$	4,29E-09
	$RB = ND \times PB \times LB$		$RB$	2,15E-04
	$RC = ND \times PC \times LC$		$RC$	0,00E+00
	$RM = NM \times PM \times LM$		$RM$	0,00E+00
	$R_{UIP} = (N_{LIP} + N_{DJIP}) \times P_{UIP} \times LU$		$R_{UIP}$	8,63E-10
	$R_{UIT} = (N_{LIT} + N_{DJIT}) \times P_{UIT} \times LU$		$R_{UIT}$	8,63E-10
	$RU = R_{UIP} + R_{UIT}$		$RU$	1,73E-09
	$R_{VIP} = (N_{LIP} + N_{DJIP}) \times P_{VIP} \times LV$		$R_{VIP}$	4,31E-05
	$R_{VIT} = (N_{LIT} + N_{DJIT}) \times P_{VIT} \times LV$		$R_{VIT}$	4,31E-05
	$RV = R_{VIP} + R_{VIT}$		$RV$	8,63E-05
	$R_{WIP} = (N_{LIP} + N_{DJIP}) \times P_{WIP} \times LW$		$R_{WIP}$	0,00E+00
	$R_{WIT} = (N_{LIT} + N_{DJIT}) \times P_{WIT} \times LW$		$R_{WIT}$	0,00E+00
	$RW = R_{WIP} + R_{WIT}$		$RW$	0,00E+00
	$R_{ZIP} = N_{IIP} \times P_{ZIP} \times LZ$		$R_{ZIP}$	0,00E+00
	$R_{ZIT} = N_{IIT} \times P_{ZIT} \times LZ$		$R_{ZIT}$	0,00E+00
	$RZ = R_{ZIP} + R_{ZIT}$		$RZ$	0,00E+00

Fonte: Adaptada de RODRIGO ANTONIO

Na imagem é possível notar que os valores das componentes de risco  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$  e  $R_V$  apresentados pela planilha de simulação são diferentes dos



apresentados na tabela 48, que foram calculados manualmente para o gerenciamento de risco do capítulo 3. Essa diferença de valores se deve ao fato de que para a realização do gerenciamento de risco, foram feitas algumas considerações iniciais, como por exemplo a quinta consideração feita no subitem 3.2 do capítulo 3.

Na consideração estimou-se que a estrutura era ocupada apenas em 9 dos 12 meses do ano, levando em conta que se trata de um bloco de salas de aula onde há desocupação nos finais de semana, feriados e período de férias, enquanto na planilha de simulação o cálculo de risco foi realizado considerando a estrutura ocupada todos os dias do ano, desconsiderando a desocupação quando não há aula.

A diferença nos valores das componentes de risco causou como consequência uma diferença no valor do risco final R1. No entanto, mesmo com diferença de valores, tanto o resultado final do gerenciamento de risco calculado quanto o apresentado pela planilha de simulação, apresentaram a necessidade de instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

O resultado de R1 calculado na planilha de simulação é apresentado na figura abaixo, assim como os valores das componentes de risco.

Figura 34 – Valores das componentes de risco e R1 e resultado dos cálculos da planilha de simulação - PS

Combinações e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)									Resultado			
	S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha				
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
R1=	4,29E-09	2,15E-04	-	-	1,73E-09	8,63E-05	-	-	30,091 E-5	0,00030091317965840100	1,00E-05	SIM
R2=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
R3=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO

Fonte: Adaptada de RODRIGO ANTONIO

## 4.1 Resultados

A planilha de simulação oferece uma ferramenta em que é possível simular quais medidas devem ser tomadas, seguindo a metodologia apresentada na figura 17, para proteger a estrutura.

A figura abaixo apresenta as medidas que devem ser tomadas para que a estrutura esteja protegida contra descarga atmosférica.

Figura 35 – Medidas que devem ser tomadas para a proteção da estrutura

Combinações e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)												
S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha		Resultado			
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
R1=	2,15E-10	4,29E-06	-	-	3,45E-11	6,90E-07	-	-	0,498 E-5	0,00000498339238746493	1,00E-05	NÃO
R2=		-	-	-		-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
R3=		-	-	-		-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO

Medidas Protetivas		Estudo:	1º ESTUDO
SPDA instalado		Estrutura protegida por SPDA II	
Blindagem espacial externa		SEM blindagem espacial	
Proteção contra choque (descarga atm. na estrutura)		Equipotencialização efetiva do solo	
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Isolação elétrica	
Proteção contra incêndio		instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático a	
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	
Sistema de DPS	DPS	DPS - I	
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	

Fonte: Adaptada de RODRIGO ANTONIO (2017)

Conforme apresentado na figura acima, é possível proteger a estrutura contra descargas atmosféricas tomando quatro medidas de proteção, são elas a instalação de um SPDA nível II, uma equipotencialização do solo, instalações fixas contra incêndio operadas automaticamente e instalação de um sistema de DPS classe I. Com isso verifica-se que o SPDA projetado no capítulo anterior, com a devida equipotencialização e instalação de DPS classe I, também previstos no capítulo 3, adicionando a instalação de um sistema automático de alarmes contra incêndio, seria suficiente para a proteção da estrutura analisada.

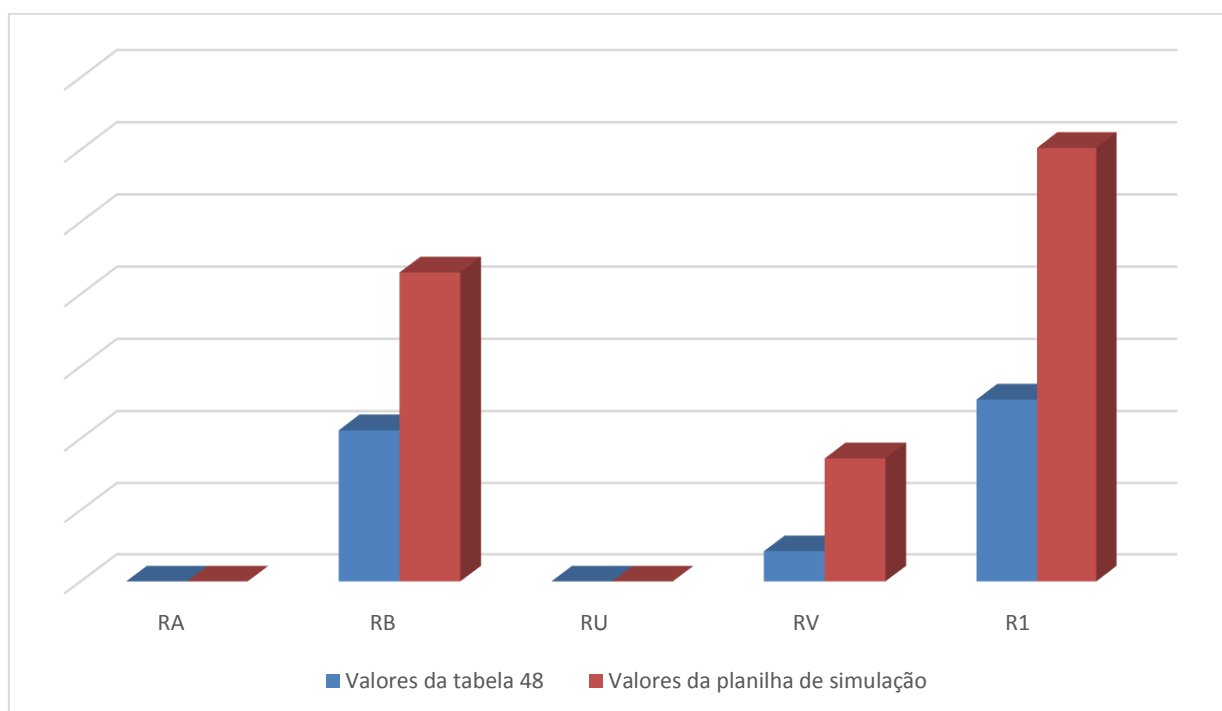
O gráfico apresentado na figura 36 representa a variação dos valores das componentes de risco,  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$  e  $R_V$  e do risco total R1. Os gráficos em azul representam os valores calculados neste trabalho, apresentados na tabela 48. Já os gráficos em vermelho representam os valores encontrados através da planilha de simulação.

É possível observar, a partir do gráfico que os valores das componentes  $R_B$  e  $R_V$  são consideravelmente maiores que as componentes  $R_A$  e  $R_U$ , isso explica-se pelo fato de serem componentes relativas a danos físicos causados por centelhamentos perigosos no interior da estrutura iniciando incêndio ou explosão e podendo colocar em perigo o meio ambiente devido a uma descarga atmosférica na estrutura ou a uma

linha conectada à estrutura, por isso, deve-se considerar todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4).

Já as componentes  $R_A$  e  $R_U$  são relativas a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 metros ao redor dos condutores de descidas, por isso é considerada apenas a perda L1.

Figura 36 – Gráfico com variações dos valores das componentes de risco e do risco R1



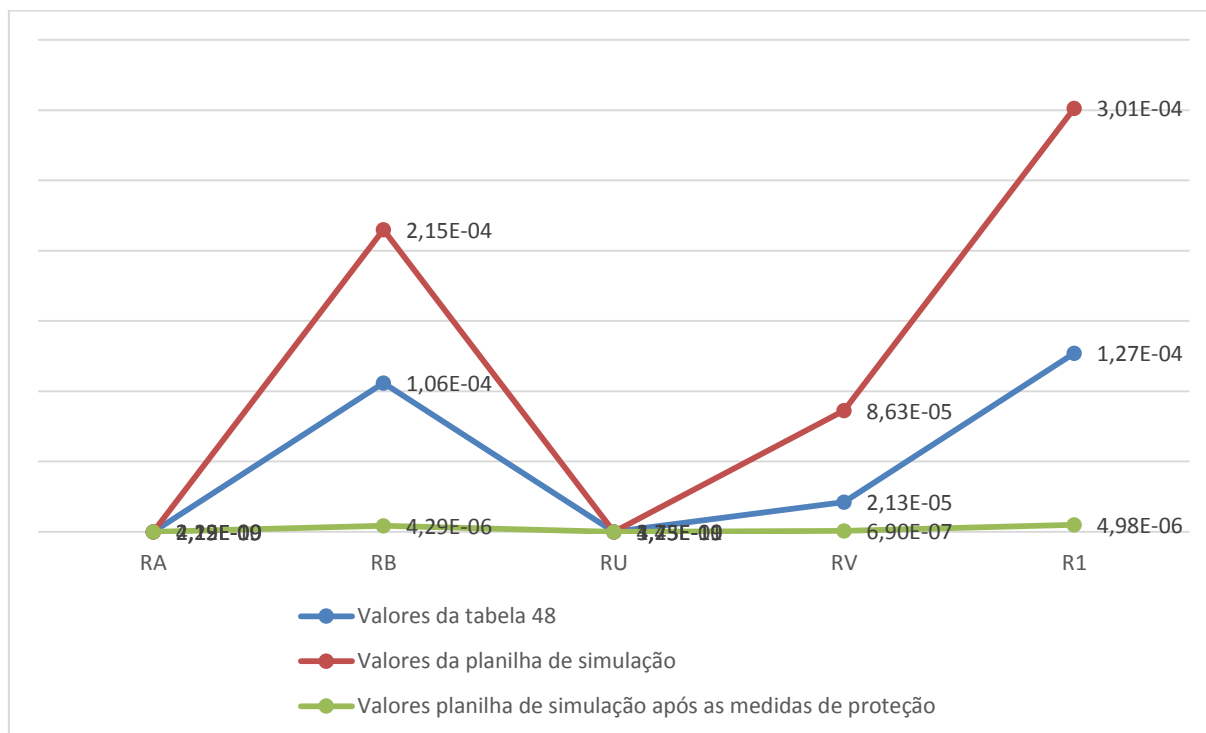
Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores apresentados na figura acima, são os valores das componentes de risco e de R1. Estes valores foram os valores encontrados no gerenciamento de risco do trabalho, azul, e da planilha de simulação, vermelho. Estes são os valores das componentes que apresentaram a necessidade de tomar alguma providência para minimizar os riscos de danos causados pelas descargas atmosféricas, ou seja, são os valores da avaliação realizada levando em consideração as condições iniciais citadas no subitem 3.1 do capítulo 3.

Já no gráfico exposto na figura 37, é apresentada a variação dos valores das componentes de risco e do risco R1 dos valores encontrados nos gerenciamentos de risco antes e após as instalações das medidas de proteção. Os gráficos em azul e em vermelho continuam com as mesmas representatividades do gráfico da figura 36.

Enquanto os gráficos em verde representam os valores que as componentes assumiram após as devidas providências de proteção terem sido tomadas.

Figura 37 - Gráfico com variações dos valores das componentes de risco e do risco R1 após as medidas de proteção



Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se no gráfico 37 que os valores das componentes de risco e do risco R1, após as orientações de segurança, sofreram uma redução, com isso, o risco total da edificação R1, passou a partir de então a ser menor que o risco tolerável.

As maiores variações foram das componentes  $R_B$  e  $R_V$  que tiveram os valores reduzidos, pode-se considerar que tal redução deve-se principalmente a instalação de um sistema de proteção contra surtos – DPS, pelo fator de ser o principal componente contra o centelhamento.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho trouxe informações sobre os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, além de uma detalhada abordagem com informações sobre os parâmetros de descarga atmosférica, que são ponto de partida para os estudos de proteção contra este fenômeno. Tais informações sobre os parâmetros das descargas atmosféricas, foram encontradas na ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), informações que não eram disponibilizadas na versão anterior da norma, de 2005.

Outro ponto que foi inserido na ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) foi o gerenciamento de risco, uma série de cálculos que levam em consideração fatores de relevância da estrutura, ocupação e das linhas de sinal e energia que alimentam a edificação.

O gerenciamento de risco permite uma avaliação “mais profunda” da necessidade ou não de instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, no entanto tal gerenciamento é utilizado apenas como uma ferramenta de auxílio pois cabe ao projetista a decisão de utilizar ou não o SPDA, desde que considere outros fatores, como por exemplo o estudo de caso realizado neste trabalho, por se tratar de um ambiente escolar o corpo de bombeiros militar do Distrito Federal exige a instalação de SPDA, conforme indica a Portaria nº 001/2002 - CBMDF, de 15 de janeiro de 2002, que aprova a norma Técnica nº 001/2002:

*4.7.8 Edificação com Destinação Escolar - Quando a altura da Edificação for superior a 10 metros ou área superior a 750 m<sup>2</sup> (setecentos e cinquenta metros quadrados) protegendo inclusive as áreas cobertas.*

Este trabalho também exibiu um estudo de caso onde foi realizado um gerenciamento de risco através dos cálculos dispostos na parte 2 da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015) e um projeto de SPDA para a estrutura proposta no estudo de caso.

Por fim apresentou ainda, através de uma planilha de simulação, uma comparação dos valores obtidos no gerenciamento de risco da planilha com os valores do gerenciamento de risco realizado.

A instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas deve causar alguns impactos na estrutura ou ao redor, como por exemplo a quebra de

calçada para instalação do sistema de aterramento, uma vez que pelo fato de se tratar de uma estrutura já construída não é possível a utilização da fundação como componente natural do SPDA.

Como já citado no trabalho, nenhum sistema de segurança pode garantir 100% de eficiência, muito menos aqueles que são referentes a fenômenos da natureza, como é o caso das descargas atmosféricas, contudo pode-se reduzir consideravelmente os riscos se forem seguidas as orientações da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015).

## REFERÊNCIAS

ALVES, Normando. **Porque um SPDA é um item de segurança**. 2018. Disponível em: <<https://www.osestoreletrico.com.br/porque-um-spda-e-um-item-de-seguranca/>>. Acesso em: maio 2018.

ANTONIO, RODRIGO. **Planilha de Gerenciamento de Risco de SPDA**. Versão 2.5. Disponível em: A planilha é comercializada na internet através do email do autor da mesma <construcad@hotmail.com>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1**: proteção contra descargas atmosféricas parte 1: princípios gerais. Rio de Janeiro, 2015. 67 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-2**: proteção contra descargas atmosféricas parte 2: gerenciamento de risco. Rio de Janeiro, 2015. 104 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-3**: proteção contra descargas atmosféricas parte 3: danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro, 2015. 51 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-4**: proteção contra descargas atmosféricas parte 4: sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro, 2015. 87 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 61643-1**: dispositivo de proteção contra surtos em baixa tensão parte 1: Dispositivos de proteção conectados a sistemas de distribuição de energia de baixa tensão – Requisitos de desempenho e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2007. 72 p.

BLAUTH, Hélio Luiz. **A pratica na instalação de para raios**. Novo Hamburgo: All Print, 2016.

BORTOLATO, Wuallyson Wuilton; VICENTE, Osni. Estudo comparativo das alterações da norma nbr 5419, avaliação e estudo de gerenciamento de risco. **Revista Técnico-Científica**, v. 1, n. 2, 2017.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações Elétricas Prediais**: conforme a norma NBR 5410:2004. 21. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2012.

COUTINHO, Fernando Nominato; ALTOÉ, Cássio Alexandre. **Levantamento de Estruturas que Necessitam de SPDA na UnB e Análise de seus Efetivos Sistemas de Proteção**. Monografia (Graduação) – Engenharia Elétrica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA. **Densidade de descargas atmosféricas para a terra**. Disponível em: <[http://www.inpe.br/webelat/ABNT\\_NBR5419\\_Ng/](http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/)>. Acesso em: maio 2018

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **ELAT/INPE divulga mortes por raios em 2014**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/release.php?id=60>>. Acesso em: mar. 2018

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Energia total**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/energia.total.php>>. Acesso em: mar. 2018

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **INPE lança serviço inédito de previsão de raios**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/release.php?id=64>>. Acesso em: mar. 2018

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Sistema elétrico**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/relampagos.e.efeitos/sistema.eletrico.php>>. Acesso em: mar 2018

G1 GLOBO. **Número de mortes causadas por raios tem queda no Brasil, aponta INPE**.G1. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2015/10/numero-de-mortes-causadas-por-raios-tem-queda-no-brasil-aponta-inpe.html>>. Acesso em: mar. 2018

KINDERMANN, G. **Descargas Atmosféricas**. 6. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzato, 1995.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

MARTINS, Fabio. **Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas**. 2017. Disponível em: < <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20144> />. Acesso em: mar. 2018.

SANTINI, Rodrigo Quintanilha. **Comparação entre a norma ABNT NBR 5419 do ano de 2005 e 2015 e aplicação em projeto**. 2016. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/157812>>. Acesso em:

SANTOS, DAYANI. **Mulher morre atingida por um raio em Guaíra**. CBN. 2017. Disponível em: <<https://www.cbncascavel.com.br/mulher-morre-atingida-por-um-raio-em-guaira/>>. Acesso em: mar. 2018.

SILVA, Jeferson da Costa. **Descargas atmosféricas, formas de diminuir o risco de acidentes**. 2017. Disponível em: <<http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/436> >. Acesso em: mar. 2018.

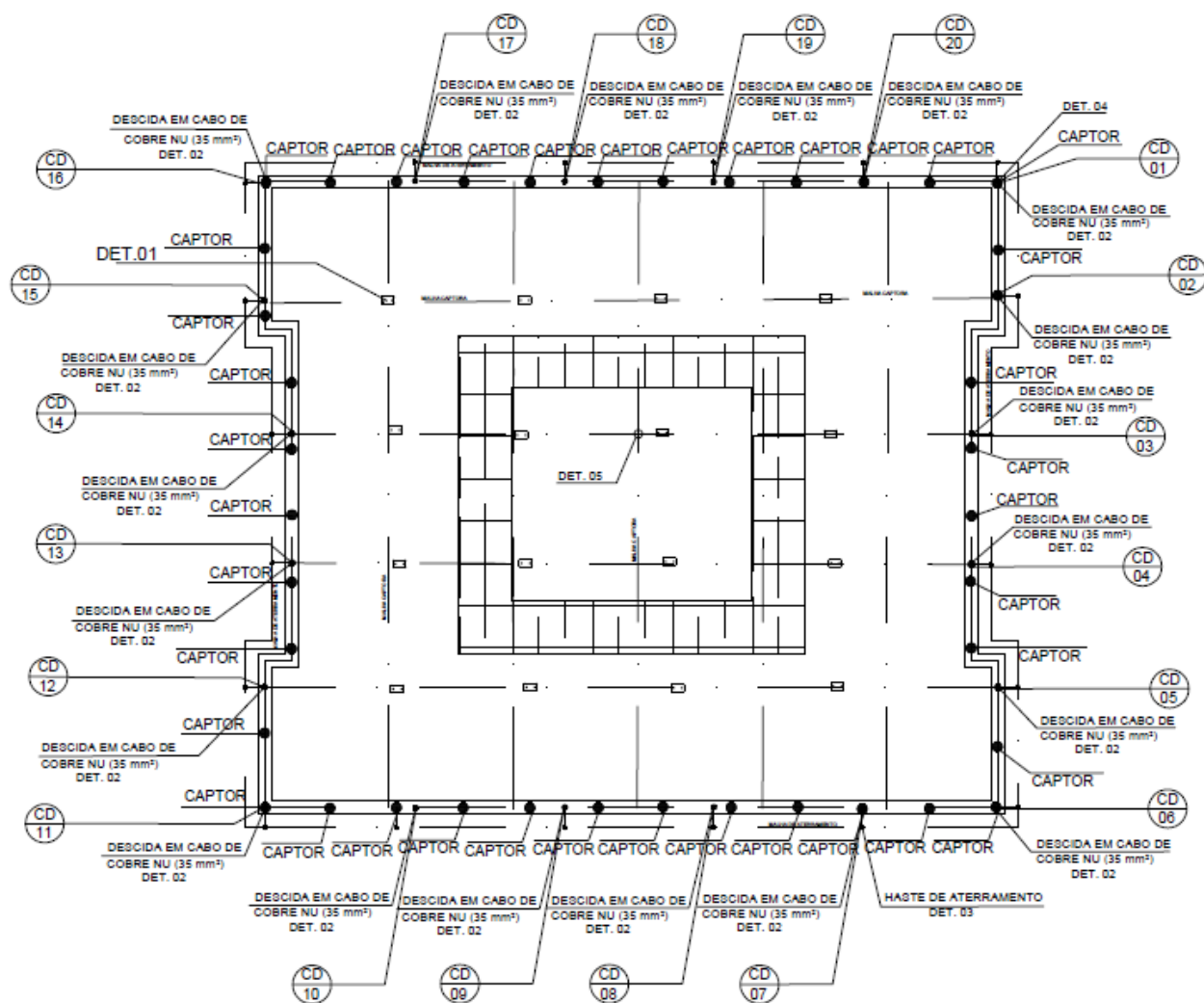


Souza, André Nunes de et al. **SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas**: Teoria, Prática e Legislação. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2014. 192 p

SUETA, Hélio Eiji. **O gerenciamento de risco segundo a Parte 2 da ABNT NBR 5419**. 2015. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/o-gerenciamento-de-risco-segundo-a-parte-2-da-abnt-nbr-5419/>>. Acesso em: mar. 2018.

## ANEXO A

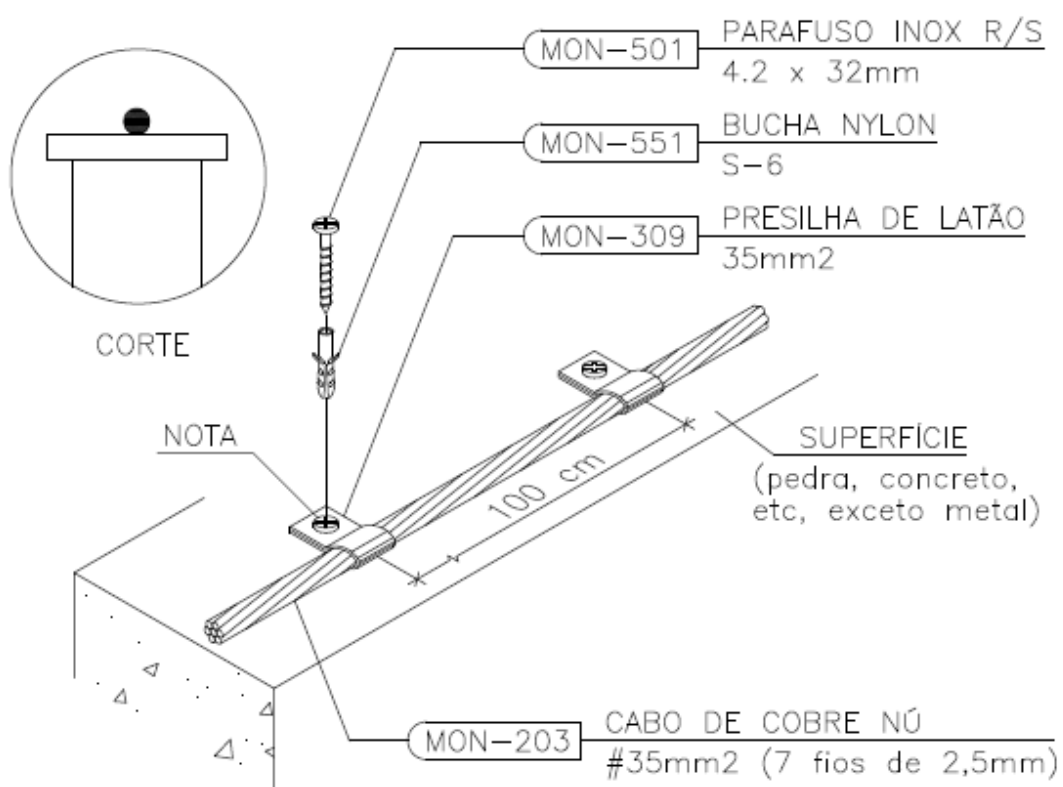
## Projeto do SPDA no AutoCAD



## ANEXO B

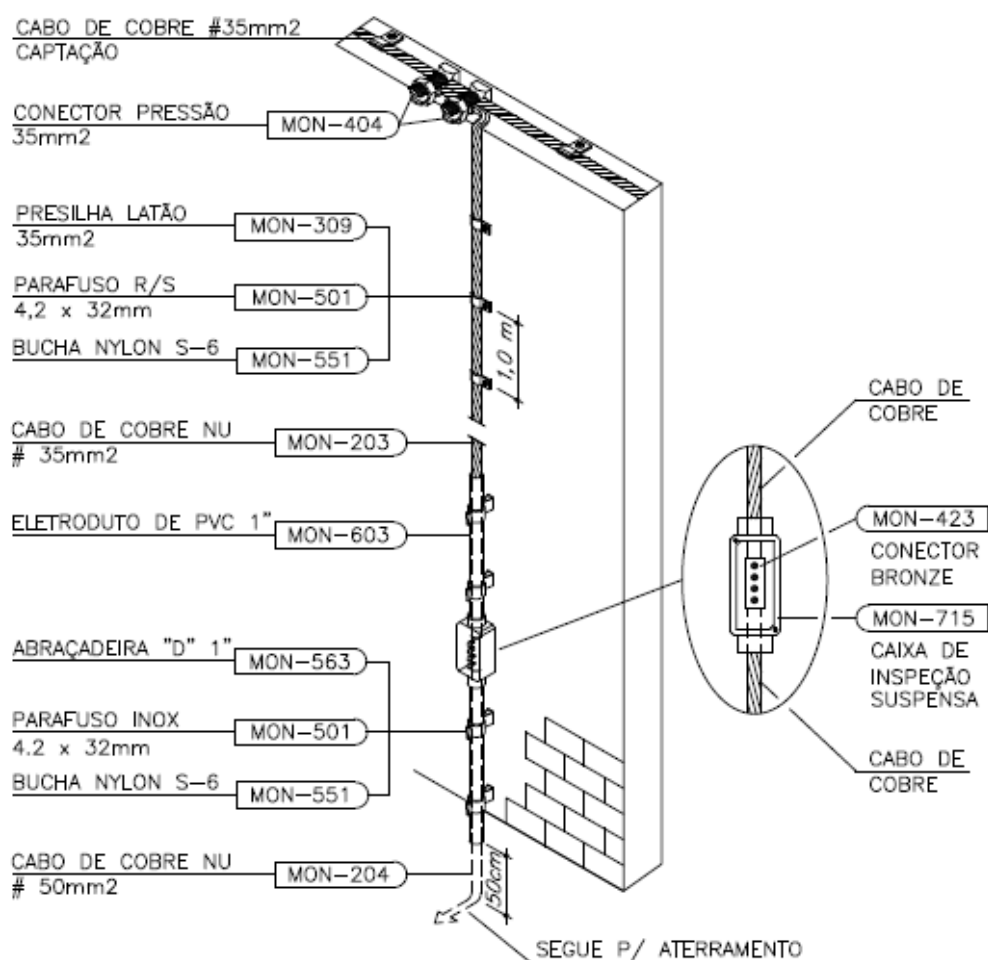
## Detalhes do projeto

## DET.01



## FIXAÇÃO GERAL DE CABO DE COBRE

## DET.02



DESCIDA COM CABO DE COBRE NÚ #35mm<sup>2</sup>  
E CAIXA DE INSPEÇÃO SUSPensa INTERLIGANDO  
CAPTAÇÃO COBRE #35mm<sup>2</sup> AO ATERRAMENTO

**DET.03**

CABO DE COBRE NU  
#50mm<sup>2</sup> (7 FIOS 3mm)

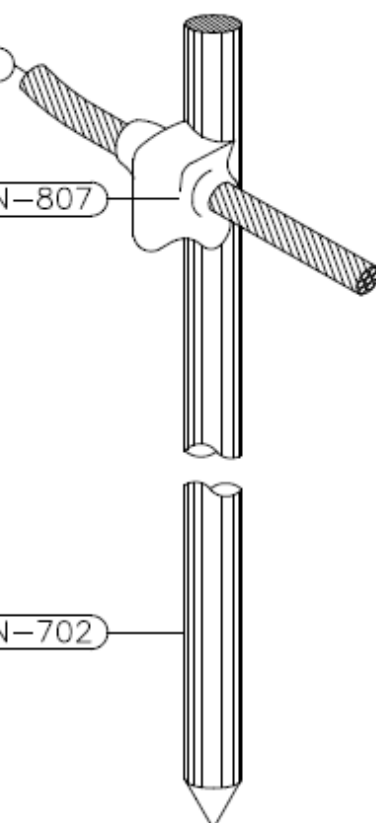
MON-204

SOLDA EXOTÉRMICA N°115  
USAR MOLDE CABO/HASTE:  
GY 5/8".16C  
GY 5/8".35C  
GY 5/8".50C

MON-807

HASTE TERRA ALTA CAMADA  
5/8" x 2,40m

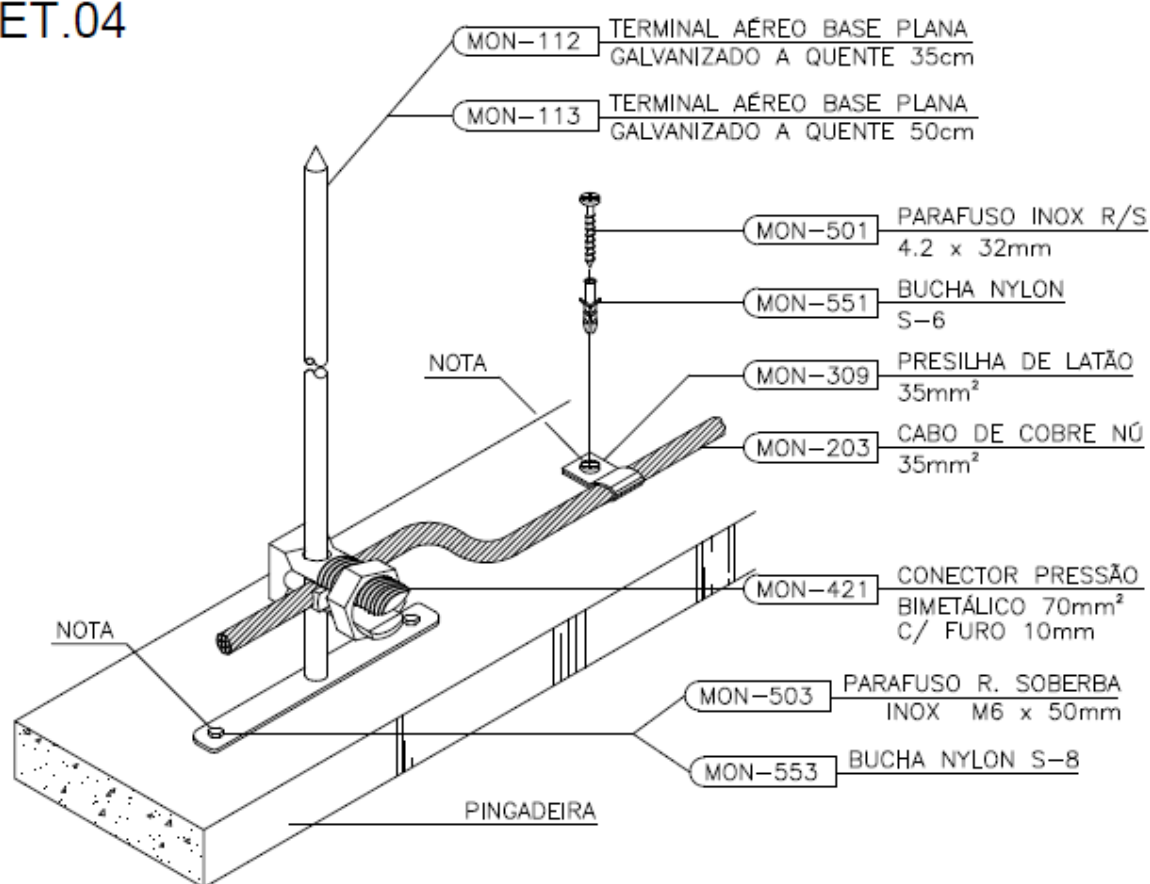
MON-702



NOTA: HASTE TOTALMENTE CRAVADA NO SOLO,  
SENDO A CONEXÃO C/ O CABO A  
APROXIMADAMENTE 30cm DE PROFUNDIDADE

**HASTE DE ATERRAMENTO 5/8" C/ CONEXÃO  
EXOTÉRMICA CABO PASSANTE**

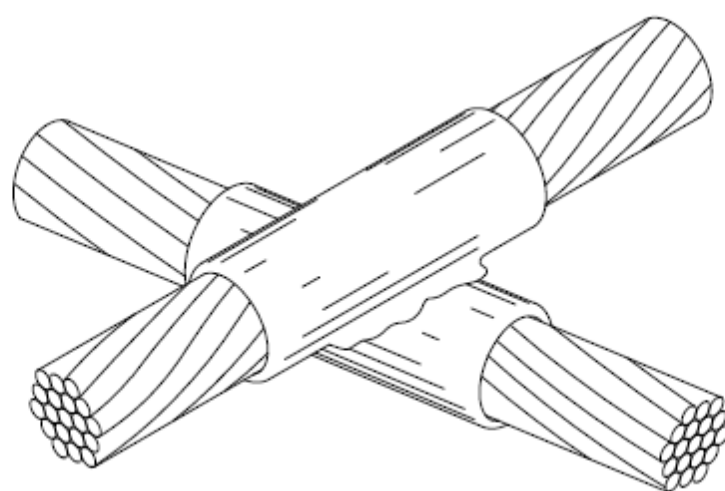
## DET.04



NOTA: USAR POLIURETANO MON-901 NA IMPERMEABILIZAÇÃO DAS PERFURAÇÕES

**TERMINAL AÉREO CAPTOR 35cm E CABO  
DE COBRE FIXADOS**

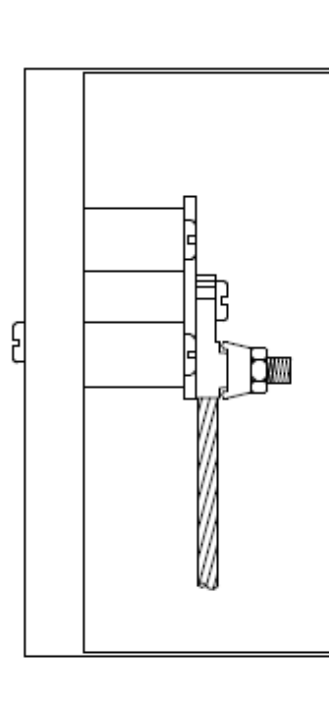
DET.05



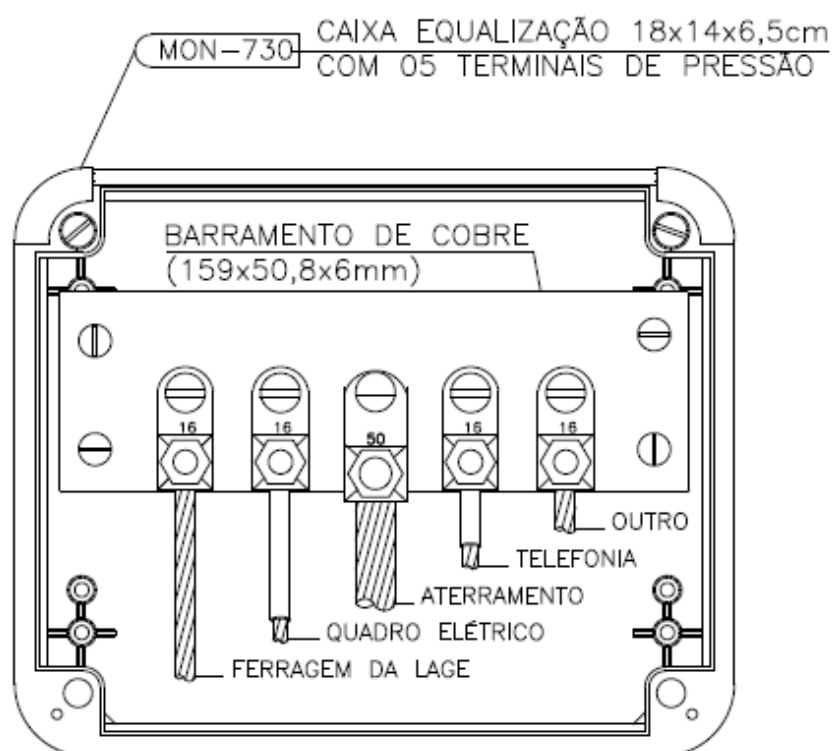
CABOS DE 50mm<sup>2</sup>

SOLDA EXOTÉRMICA EM CRUZ

DET. 06



VISTA LATERAL



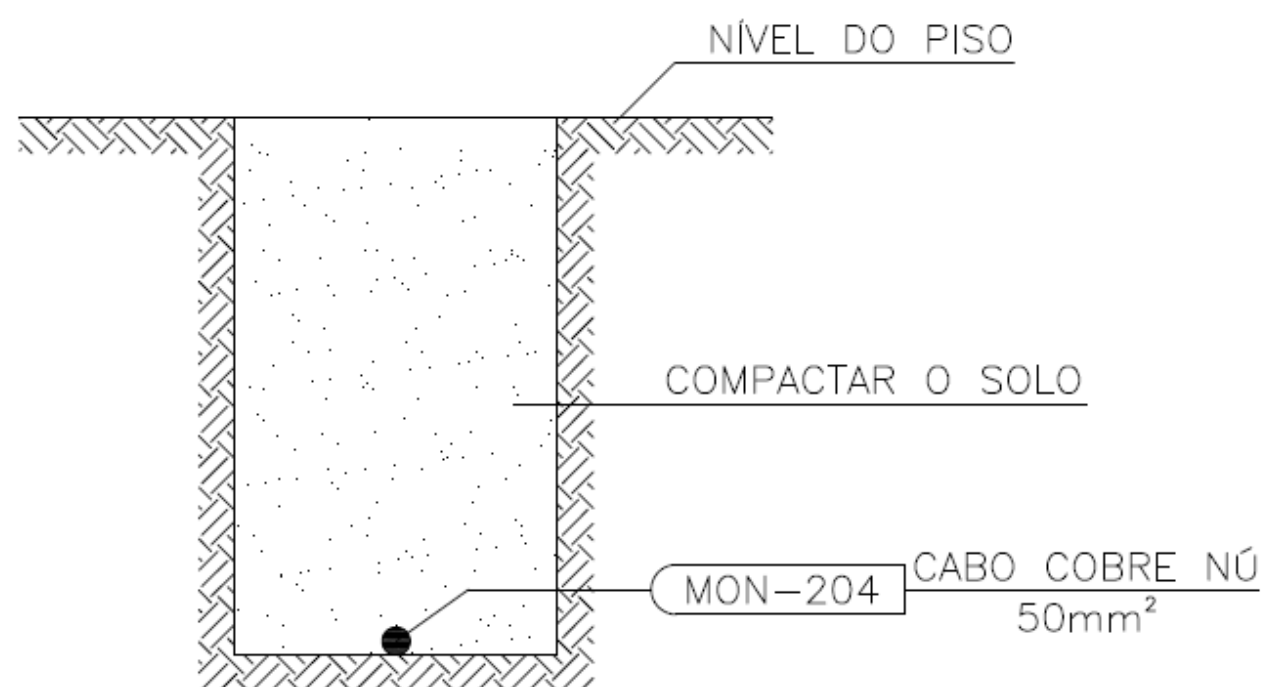
VISTA FRONTAL

NOTA: Utilização interna ou externa podendo embutir ou sobrepor.

**CAIXA DE EQUALIZAÇÃO DOS POTENCIAIS  
18X 14 cm EM PVC**



DET.07



VALA PARA CABOS DE ATERRAMENTO